

UNIVERSIDADE DE LISBOA

FACULDADE DE CIÊNCIAS

SECÇÃO AUTÓNOMA DE HISTÓRIA E FILOSOFIA DAS CIÊNCIAS



**ENERGIA E MEDICINA**

**Mayer e Helmholtz**

**Maria Teresa Ribeiro Rocha Homem de Melo**

**DOCTORAMENTO EM HISTÓRIA E FILOSOFIA DAS  
CIÊNCIAS**

2014



UNIVERSIDADE DE LISBOA

FACULDADE DE CIÊNCIAS

SECÇÃO AUTÓNOMA DE HISTÓRIA E FILOSOFIA DAS CIÊNCIAS



**ENERGIA E MEDICINA**  
**Mayer e Helmholtz**

**Maria Teresa Ribeiro Rocha Homem de Melo**

TESE ORIENTADA PELO

PROF. DOUTOR RICARDO LOPES COELHO

ESPECIALMENTE ELABORADA PARA A OBTENÇÃO DO GRAU DE DOUTOR

EM HISTÓRIA E FILOSOFIA DAS CIÊNCIAS

2014

# Energia e Medicina

## Mayer e Helmholtz

### Índice

Agradecimentos.....	5
Resumo.....	6
Abstract .....	7
Introdução.....	8
Cap. I. Da história e historiografia da energia.....	11
I.1.1. Ostwald .....	29
I.1.1.1. Energia .....	30
I.1.1.2. Dualismo matéria-energia .....	32
I.1.1.3. Organismos vivos.....	33
I.1.1.4. Historiografia sobre Ostwald .....	37
I.2. Outros autores .....	38
I.3. Dificuldades na definição de energia nos manuais e resolução de problemas.....	61
I.4. Discussão do problema .....	73
I.5. Problemática na definição de energia .....	75
I.6. Da descoberta da conservação da energia.....	77
I.7. Conclusão.....	80
Cap. II. Robert Mayer .....	82
II.1. A observação clínica de Mayer à luz da ciência da época e da ciência actual .....	84
II.2. O conceito de força.....	99
II.2.1. Movimento.....	102
II.2.2. Força de queda.....	103
II.2.3. Calor .....	105
II.2.4. Electricidade .....	111
II.2.5. Separação química .....	112
II.2.6. Seres vivos .....	113
II.3. Historiografia sobre Mayer.....	119
II.4. Modelos explicativos .....	125
II.4.1. Conservação da energia e transformabilidade das forças .....	125
II.4.2. Modelos explicativos hodiernos .....	126
II.4.2.1. Modelo explicativo nos fenómenos físico-químicos .....	126
II.4.2.2. Modelo teórico hodierno para organismos vivos .....	127
II.5. Conclusão .....	128
Cap.III. Hermann von Helmholtz.....	131
III.1. O artigo de 1847 .....	133

III.2. Historiografia sobre Helmholtz .....	140
III.3. Helmholtz e Mayer .....	148
III.4. Conclusão .....	152
Cap. IV. Discussão filosófica sobre Mayer e Helmholtz: breves notas .....	155
Cap. V. Conclusão .....	166
Bibliografia.....	180

## **Agradecimentos**

As minhas declarações de dívida não são numerosas, mas são de monta.

Ao Prof. Ricardo Lopes Coelho, pela excelente e perspicaz orientação, pelo incansável apoio e amabilidade, pela aposta inquestionável no meu trabalho.

Aos Profs. Mariana Valente, Isabel Serra, Rui Moreira e João Paulo Príncipe, que durante as provas intermediárias de doutoramento deram atenção ao meu trabalho e me fizeram observações críticas relevantes.

Agradeço à Dra. Ana Cristina Fraga da Biblioteca da FCUL o apoio na pesquisa bibliográfica. À Sofia, pelo seu paciente apoio informático.

Ao António, pelo seu amplo saber em matérias tão diversas das artes e das humanidades, pelo seu constante apoio no meu trajecto.

Ao meu pai, que chegado à idade da sabedoria, me fez observações pertinentes, apoiadas na sua grande experiência médica.

A memória da minha mãe, vigilante atenta dos meus passos, esteve sempre presente.

A recordação da minha sobrinha Catarina, que nos deixou cedo de mais, não me abandona.

## Resumo

O Nobel da Física Richard Feynman dizia nas suas *Lectures* nos anos sessenta que é importante ter consciência que, face aos desenvolvimentos em física, não temos um conhecimento do que seja a energia. Outros físicos têm salientado a mesma dificuldade. O conceito de energia é também usado em explicações de processos fisiológicos. Neste contexto, o significado de energia é também uma questão em aberto. Um estudo (Coelho 2009) mostra que os descobridores da energia não encontraram nada que não possa ser destruído ou criado mas antes um princípio de equivalência entre quantidades físicas que não tinham sido até então ligadas. Então surge a questão se esta ideia de equivalência pode ser útil na compreensão da energia nas ciências da vida.

O conceito de energia no domínio inorgânico tem sido um objecto de investigação histórica desde o século XIX. O domínio orgânico não tem tido a mesma atenção. Tendo em conta ambos os aspectos, orgânico e inorgânico, serão analisadas as contribuições de Mayer e Helmholtz para o princípio da conservação da energia.

A ideia do princípio da conservação da energia tem a sua origem na observação que o médico, Mayer, fez. Baseado nesta observação, Mayer formula a tese: o sangue venoso nas regiões mais frias é mais escuro porque o consumo de oxigénio é maior em ordem a manter a temperatura do corpo humano. Jenstsch (1916) salientou que não havia evidência para esta tese. Isto conduziu à questão se Mayer realmente observou o que ele diz ter observado. Relativamente a estas questões, algumas hipóteses são apresentadas e discutidas.

Palavras-chave: energia, princípio de equivalência; Mayer; Helmholtz; cor do sangue.

## Abstract

The Nobel Laureate Richard Feynman said in his *Lectures* in the 60s that it is important to realize that, despite developments in physics, we have no knowledge what energy is. Other physicists have pointed out the same difficulty. The concept of energy is also used in explanations of physiological processes. In this context, the meaning of energy is also an open question. A study (Coelho 2009) shows that the discoverers of energy did not find anything which can neither be destroyed nor created but rather a principle of equivalence between physical quantities, which had not been connected until then. The question of whether this idea of equivalence can be useful in understanding energy in life sciences then arises.

The concept of energy in the inorganic domain has been a subject of historical research since the nineteenth century. This does not hold concerning the organic domain. Taking into account both aspects, organic and inorganic, Mayer's and Helmholtz's contributions to the principle of energy conservation are analyzed.

The idea of this conservation principle of energy has its origin in the observation the physician, Mayer, made. Based on this observation, Mayer formulates the thesis: venous blood is darker in colder regions, as the consuming of oxygen is greater in order to maintain the temperature of the human body. Jentsch (1916) pointed out that there was no evidence for this thesis. This leads to the question of whether Mayer really observed what he said he had. Concerning these questions, some hypotheses will be presented and discussed.

Key-words: energy; principle of equivalence; Mayer; Helmholtz; colour of blood.



## Introdução

O conceito de energia é ainda hoje um conceito problemático e complexo. O Nobel da Física em 1965, Richard Feynman (1918-1988), dizia nas suas *Lectures on Physics* nos anos sessenta, ser importante ter consciência que na física de hoje não temos um conhecimento do que seja a energia (Feynman 1966. Cf. Coelho 2006, p. 9). No *Lehrbuch der Experimentalphysik* de Bergmann e Schaefer de 1998 lê-se, ninguém sabe o que a energia realmente é (Bergmann e Schaefer 1998. Cf Coelho 2006, p. 9). Na *Physik I: Mechanik und Wärme* de 2001, Dransfeld, Kienle e Kalvius continuam a referir não saber o que a energia realmente é. Vários outros autores têm salientado a dificuldade em definir energia.

O conceito de energia é pois uma questão em aberto.

O conceito de energia é também usado na explicação de processos fisiológicos. Neste contexto, o conceito de energia também é uma questão em aberto. Surge então a questão de saber o que é a energia que ainda não se conhece e que se ensina, como também o significado da energia nas ciências da vida.

A historiografia das ciências atribui a descoberta da conservação da energia a Julius Robert Mayer, Hermann von Helmholtz, James Prescott Joule e Ludvig Colding pelos anos 40 do século XIX.

A ideia deste princípio tem origem numa observação clínica de Mayer. Um estudo (Coelho 2009) mostrou que Mayer estabeleceu equivalências entre diferentes domínios. O domínio inorgânico tem sido bastante estudado desde o século XIX. O domínio orgânico não tem tido a mesma atenção. Assim, este trabalho vai estudar e tentar perceber se este sentido de equivalência também se aplica ao domínio orgânico. Para tal, estudaram-se os autores que no século XIX se debruçaram sobre o estudo do domínio orgânico, Mayer e Helmholtz.

Vamos construir uma hipótese com base na filosofia kantiana, analisar os argumentos e perceber que de facto Feynman tinha razão ao dizer que ainda não se sabe o que é a energia. Mas vamos mais longe dizendo que a energia nunca poderá ser conhecida e explicada e que

apenas poderemos construir modelos ao longo da história. Modelos diversos de acordo com o contexto em questão e com as condições contextuais e históricas em cada momento. Assim, falamos de energia física, química, biológica, entre outras. E cada um destes modelos de energia tem a sua própria história e metodologia científica.

Feynman dizia nas suas *Lectures on Physics* que a energia não é um objecto concreto, mas sim um princípio matemático.

A recolocação da questão: quem descobriu a energia?, tem implicações históricas e filosóficas relevantes. A atribuição da descoberta da conservação da energia pela historiografia das ciências deve ser portanto repensada e abrir caminho para uma outra abordagem da questão pela história e filosofia das ciências.

Assim, aquela questão deve ser recolocada nos seguintes termos: quem descobriu o princípio da conservação da energia? Isto porque tal como Feynman refere e nós podemos acrescentar de acordo com Kant, a essência da energia ainda não foi descoberta e é incognoscível. E acrescentamos que o cientista apenas pode descobrir os diferentes modelos teoria-experiência contingentes e contextuais tal como a conservação da energia.

Tal como já referido, a descoberta da conservação da energia é atribuída pela historiografia das ciências a quatro jovens cientistas, nenhum deles físico (Mayer, Joule, Helmholtz, Colding). Coelho (2011) recoloca a atribuição da descoberta da conservação da energia em termos históricos e filosóficos. Deste modo, o cálculo do equivalente mecânico do calor e não do princípio da conservação da energia é atribuído a dois dos quatro jovens: Mayer e Joule.

Vamo-nos concentrar na análise do modelo da energia segundo a historiografia das ciências e verificar que é necessário mudar de paradigma. Os modelos são meios de compreensão da realidade no sentido de objectos ideais, uma vez que apenas existe conhecimento dos modelos. A essência das coisas é, segundo Kant, incognoscível.

Primeiro que tudo, vamos estudar o modelo de energia físico.

Este trabalho propõe-se também analisar o modelo de energia biológico a partir dos dados do próprio Mayer e de acordo com as noções biológicas hodiernas, pois a observação clínica de Mayer em 1840 constitui o motor do modelo de energia biológico apelando a que haja uma viragem no modo de abordagem da descoberta da conservação da energia. Elabora-se uma hipótese de modelo biológico para as equivalências que Mayer estabeleceu, as quais estão na base de todo o seu raciocínio e descoberta.

Por último, discutiremos o significado do conceito de energia.

Convém ressaltar que, a investigação científica numa universidade portuguesa encontra obstáculos difíceis de superar. As nossas bibliotecas não dispõem de material bibliográfico recente e abundante que facultem os meios indispensáveis a uma informação satisfatória. Por esforçadas que sejam as iniciativas individuais, elas estão sempre condicionadas e os resultados são inevitavelmente limitados.

## Cap. I. Da história e historiografia da energia

Energia significa etimologicamente actividade. O termo energia era usado na linguagem comum dos séculos XVIII e XIX. Por exemplo, o sentido psicológico foi lexicalizado em 1798 (Delon 1988, p. 45). O termo era usado para a conduta de coisas públicas e privadas: uma administração cheia de energia; ele comporta-se com bastante energia.

Em 1807, Thomas Young usou energia para definir uma grandeza, a massa vezes o quadrado da velocidade. Segundo o autor, esta definição tinha como finalidade evitar o uso do termo força para duas grandezas, a massa vezes o quadrado da velocidade e a massa vezes a velocidade.<sup>1</sup>

Na primeira metade do século XIX, o termo energia aparece várias vezes nos textos científicos com o sentido de actividade. Seebeck usa-o nas lições de 1821, referindo-se à energia, portanto à actividade da acção química;<sup>2</sup> Ampère também fala de energia: da actividade de uma pilha de Volta.<sup>3</sup> Mayer usa o termo em diversos contextos como energia dos efeitos mecânicos,<sup>4</sup> energia dos processos de oxidação,<sup>5</sup> energia do calor ou da radiação

---

<sup>1</sup> “The term energy may be applied, with great propriety, to the product of the mass or weight of a body, into the square of the number expressing its velocity. (. . .) This product has been denominated the living or ascending force, since the height of the body’s vertical ascent is in proportion to it; and some have considered it as the true measure of the quantity of motion; but although this opinion has been very universally rejected, yet the force thus estimated well deserves a distinct denomination” (Young 1807: 78-9).

<sup>2</sup> “Aus meinen Untersuchungen (...) hatte sich ergeben, daß die Intensität des Magnetismus dieser Ketten in geradem Verhältniß zu der Energie der durch den feuchten Leiter begründeten chemischen Action stehe“ (Seebeck 1822-23: 265).

<sup>3</sup> “[...] ce qu’il est mis en action par une pile de Volta, dont on peut augmenter l’énergie à volonté en augmentant le nombre et l’étendue des plaques” (Ampère 1822 : 60).

<sup>4</sup> “Wenn für die kleine Raumabstände und Geschwindigkeiten die Energie der mechanischen Effekte, den ausgezeichneteren chemischen Kräften gegenüber, sehr in den Hintergrund treten (...)” (Mayer 1845 : 28);

<sup>5</sup> “(...) einen Einfluss, durch den im allgemeinen die Energie des Oxydationsprocesses erhöht“ (1845, p. 79); „die einzelnen Blutkörperchen nehmen mit verstärkter Energie den Sauerstoff auf“ (Mayer 1845 : 82).

do calor.<sup>6</sup> Thomson usa-o numa nota de rodapé num artigo de 1849 sobre a teoria de Carnot, mas num sentido que viria a retomar, ele dizia: nenhuma energia (actividade) se perde na natureza.<sup>7</sup> O termo é definido pela primeira vez numa forma técnica no âmbito da teoria do calor como movimento por Thomson em Dezembro de 1851. Os autores a quem se atribui o princípio de conservação da energia usaram o termo “força” como Mayer (1842), Colding (1843) e Helmholtz (1847) ou poder mecânico e calor-movimento, como Joule (1843).

Os trabalhos de Mayer e Helmholtz relacionados com o princípio da descoberta da conservação da energia serão objecto de estudo nos próximos dois capítulos. Dos contributos de Joule e Colding será dada uma panorâmica de seguida.

Em 1843, Joule publicou um artigo no *Philosophical Magazine* intitulado “Sobre os efeitos caloríficos da magneto-electricidade e sobre o valor mecânico do calor”.<sup>8</sup>

O artigo é constituído por duas partes e um *post scriptum*. Na primeira parte é colocada a questão que está na base do trabalho experimental levado a cabo: se o calor surge por transferência ou por geração. Joule pensa que se o calor for um “estado de vibração” e não uma substância, ele poderá ser induzido por uma acção mecânica como a máquina magneto-eléctrica que ele usa nas experiências levadas a cabo neste artigo.

Do resultado das experiências, Joule conclui que o calor pode ser gerado ou destruído pela máquina magneto-eléctrica. Como a máquina magneto-eléctrica consiste principalmente na indução de corrente eléctrica através de movimento, Joule conclui que o calor desenvolvido pela corrente é uma consequência do trabalho realizado. Assim, para Joule, o calor é gerado pelo movimento. Como pela máquina magneto-eléctrica se pode fazer variar o calor, então o calor pode variar em função do movimento.

Na parte II intitulada “sobre o valor mecânico do calor”, Joule questiona se existe uma razão constante entre o calor e o poder mecânico ganho ou perdido.<sup>9</sup> Assim, ele vai retomar a

---

<sup>6</sup> “L’extrême énergie avec laquelle la chaleur des rayons solaires pénètre des corps transparents, fait voir (. . .)” (1846, Weyrauch, 1893, p. 265). “Dagegen wächst die diathermane Energie der Strahlen fortwährend, wie die Temperatur der Quelle höher wird (...) dass diese durch ihre ausserordentliche diathermane Energie alle künstlichen Wärmestrahlen bei weitem übertreffen“ (Mayer 1848 : 23-4). „Dieses Erfahrungsgesetz, dass die Raum-durchdringende Energie der Wärmestrahlen im allgemeinen zunimmt,“ (Mayer 1848 : 24); „die ausserordentliche diathermane Energie der Sonnenstrahlen“ (Mayer 1848 : 25).

<sup>7</sup> “When “thermal agency” is thus spent in conducting heat through a solid, what becomes of the mechanical effect which it might produce? Nothing can be lost in the operations of nature - no energy can be destroyed” (Thomson 1849: 545).

<sup>8</sup> Vol. XXIII, p. 263-76, 347-55, 435-443.

experiência com o objectivo de estabelecer uma relação quantitativa entre o calor desenvolvido e o “poder mecânico” empregue.

Do resultado da primeira experiência, Joule conclui que um grau de calor por libra de água é equivalente à força mecânica capaz de elevar um peso de 896 libras à altura dum pé.<sup>10</sup> Calculando a média dos vários valores em todas as experiências, Joule chega ao resultado de 838 libras da altura dum pé como o poder mecânico equivalente à quantidade de calor capaz de elevar a temperatura duma libra de água de um grau Fahrenheit.<sup>11</sup>

No *post scriptum*, Joule vai referir-se às experiências de fricção de Rumford. Joule vai corroborar a tese de Rumford em que na experiência de perfuração de canhões atribuía o calor desenvolvido à fricção.<sup>12</sup> O essencial para Joule era: Rumford defendeu que o calor era movimento. Também é referido sumariamente um trabalho experimental em que Joule chega a um valor de 770 libras.pé para um grau Fahrenheit duma libra de água.<sup>13</sup>

Em 1845 surgem dois artigos de Joule no *Philosophical Magazine*: “Sobre as mudanças de temperatura produzidas por rarefacção e condensação” e “Sobre o equivalente mecânico do calor”.

O cerne do primeiro artigo reside numa experiência que conduz à tese que contraria a tese do calor-substância e conducente à teoria dinâmica do calor.

Passemos a considerar as experiências do primeiro artigo.

---

<sup>9</sup> “Having proved that heat is generated by the magneto-electrical machine, and that by means of the inductive power of magnetism we can diminish or increase at pleasure the heat due to chemical changes, it became an object of great interest to inquire whether a constant ratio existed between it and the mechanical power gained or lost” (Joule 1884: 149).

<sup>10</sup> “1° of heat per lb. of water is therefore equivalent to a mechanical force capable of raising a weight of 896 lb. to the perpendicular height of one foot” (Joule 1884: 151).

<sup>11</sup> “At present we shall adopt the mean result of the thirteen experiments given in this paper, and state generally that, The quantity of heat capable of increasing the temperature of a pound of water by one degree of Fahrenheit’s scale is equal to, and may be converted into, a mechanical force capable of raising 838 lb. to the perpendicular height of one foot” (Joule 1884: 156).

<sup>12</sup> “We shall be obliged to admit that Count Rumford was right in attributing the heat evolved by boring cannon to friction, and not (in any considerable degree) to any change in the capacity of the metal” (Joule 1884: 157).

<sup>13</sup> “I have lately proved experimentally that heat is evolved by the passage of water through narrow tubes. My apparatus consisted of a piston perforated by a number of small holes, working in a cylindrical glass jar containing about 7 lb. of water. I thus obtained one degree of heat per lb. of water from a mechanical force capable of raising about 770 lb. to the height of one foot” (Joule 1884: 157).

Joule vai considerar a variação da temperatura de um gás pela condensação e rarefacção. A temperatura aumenta na condensação e diminui na rarefacção.

A condensação é a diminuição de volume dum gás por acção mecânica exterior em que o gás é comprimido enquanto a rarefacção é o inverso, em que o gás expande-se.

Ele vai realizar três tipos de experiências: condensação, rarefacção sem efeito mecânico e rarefacção com efeito mecânico.

Em qualquer das experiências é usado um recipiente com água, cuja temperatura é medida com a ajuda de um termómetro de grande precisão no início e no final da condensação ou rarefacção.

As experiências de condensação foram realizadas com o mecanismo da figura seguinte.

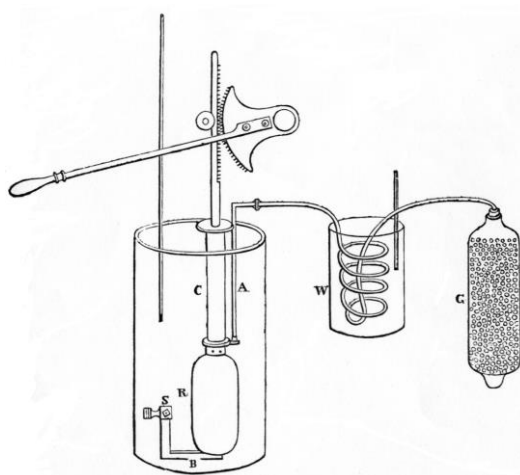


Fig 1 do artigo de Joule

Os dois cilindros contêm água, na qual está imerso um termómetro. O outro recipiente contém pedaços de cloreto de cálcio para secar o ar. No cilindro maior está imerso na água o recipiente com o gás, o qual pode ser comprimido através do manípulo dentado. Joule verifica que a temperatura da água do cilindro da condensação aumenta.

O aumento da temperatura é devido em parte à condensação do ar e em parte à fricção da bomba e movimento da água durante o processo.

As experiências de rarefacção sem produção de trabalho foram realizadas com o mecanismo representado na figura seguinte.

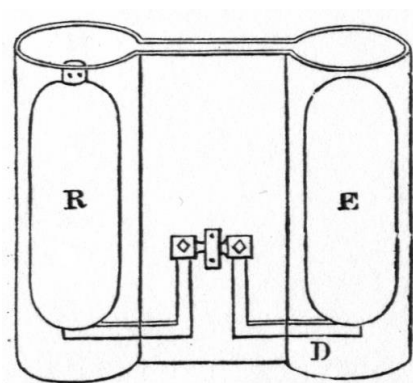


Fig 2 do artigo de Joule

É usado um dispositivo constituído por duas botijas de cobre ligadas entre si por uma torneira. Trata-se de um dispositivo capaz de deixar passar o ar quando aberto. O recipiente R está cheio de ar seco a pressão considerável e o recipiente E está em vácuo. O conjunto está imerso num recipiente com água, cuja temperatura inicial é cuidadosamente medida. A rarefacção é provocada pela abertura da torneira. Quando a torneira é aberta, o gás expande-se e a temperatura da água é medida novamente. Não se verificou alteração da temperatura.

Joule vai inverter as botijas para determinar a variação de calor de cada recipiente na sequência da rarefacção. Cada uma das botijas e a vizinhança da torneira estão imersas em recipientes disjuntos. Em cada um dos recipientes é medida a temperatura da água antes e depois da expansão do gás. A temperatura diminuiu no recipiente onde está imersa a botija R e aumenta nos outros dois. A soma das variações é próxima de zero. Após estabelecido o equilíbrio pela passagem do ar da botija R para a botija E onde o ar se expande, o calor desenvolve-se na botija onde o ar não se expandiu.



As experiências de rarefacção com produção de trabalho foram realizadas com o mecanismo da figura seguinte.

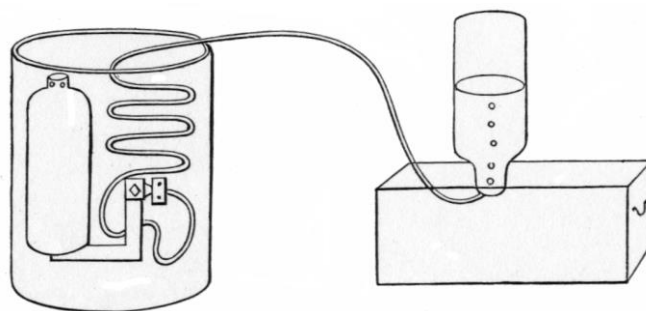


Fig 3 do artigo de Joule

A botija com ar comprimido está imersa num cilindro com água. Quando a torneira é aberta, o gás expande-se, sendo conduzido a um recipiente com água, como se mostra na fig. 3. A entrada do gás no recipiente obriga à saída de água que por sua vez eleva o nível da água da tina. Houve produção de efeito mecânico.

Conclusão das três experiências: no primeiro tipo de experiências houve condensação do gás e aumento de temperatura da água; no segundo houve rarefacção numa parte do recipiente imerso, condensação na outra, não foi realizado trabalho e não se verificou variação da temperatura envolvente; no terceiro houve rarefacção e diminuição da temperatura da água, mas foi realizado trabalho.

Em Maio de 1847 é publicada num jornal de Manchester uma conferência de Joule intitulada *Sobre a matéria, força viva e calor*, dirigida ao público em geral. Esta começa com a caracterização fundamental da matéria, extensão e impenetrabilidade.<sup>14</sup> Estas características são as condições *sine qua non* para algo se poder afirmar ser matéria. E por isso Joule diz que

<sup>14</sup> “In our notion of matter two ideas are generally included, namely those of *impenetrability and extension*. (...) Impenetrability and extension cannot with much propriety be reckoned among the *properties* of matter, but deserve rather to be called its *definitions*, because nothing that does not possess the two qualities bears the name of matter” (Joule 1847: 265).

elas distinguem-se das ditas propriedades da matéria, a atracção da gravidade e a inércia.<sup>15</sup> Por inércia é entendida a passividade dos corpos, a incapacidade das coisas mudarem o seu próprio estado. O movimento dos corpos é remetido às forças vivas que existiriam neles enquanto estivessem em movimento.<sup>16</sup> Joule entende a possível objecção de falar-se em forças vivas em corpos sem vida. Ele justifica dizendo que o uso de força viva estaria ligado ao movimento enquanto o oposto à força motriz seria a força estacionária, a gravidade.

Joule passa então ao tema calor. Joule diz que as experiências mostraram ser aparente a destruição das forças vivas, pois é produzido um equivalente em calor.<sup>17</sup> Com esta relação entre forças vivas e calor, e a anterior entre gravidade e forças vivas, segue-se pois que as forças são mutuamente convertíveis, nada se perdendo nas conversões.

A parte final da conferência é dedicada à natureza do calor. O calor substância sendo matéria teria de possuir extensão e impenetrabilidade pelo que Joule opõe à tese do calor substância a convertibilidade.<sup>18</sup> Joule apresenta a sua própria concepção de calor. Ele entende que o calor terá de consistir em força viva ou atracção através do espaço e inclina-se a ligar o calor sensível, aquele que é imediatamente indicado pelo termómetro, à força viva, e o calor latente à atracção através do espaço.<sup>19</sup>

Em Junho de 1847 é apresentada uma comunicação ao encontro da Associação Britânica e em Agosto é publicado um artigo na revista da Academia das Ciências de Paris.

---

<sup>15</sup> “Matter is endowed with an exceedingly great variety of wonderful properties, some of which are common to all matter (...) the attraction of gravitation is one of the most importante (...) there is another very remarkable property displayed in an equal degree by every kind of matter-its perseverance in any condition, whether of rest or motion, in which it may have been placed. This faculty has received the name of *inertia*, signifying passiveness, or the inability of any thing to change its own state” (Joule 1847:265-6).

<sup>16</sup> (...) it is obvious that the force expended in setting a body in motion is carried by the body itself, and exists with it and in it, throughout the whole course of its motion. This force possessed by moving bodies is termed by mechanical philosophers *vis viva*, or *living force*” (Joule 1847: 266)

<sup>17</sup> “Experiment (...) has shown that, wherever living force is *apparently* destroyed, an equivalente is produced which in process of time may be reconverted into living force. This equivalent is *heat*” (Joule 1847: 269).

<sup>18</sup> “A few words may be said, in conclusion, with respect to the real nature of heat. The most prevalent opinion, until of late, has been that it is a *substance* possessing, like all other matter, impenetrability and extension. We have, however, shown that heat can be converted into living force and into attraction through space (...) the hypothesis of heat being a substance must fall to the ground” (Joule 1847: 273).

<sup>19</sup> “Heat must (...) consist of either living force or of attraction through space (...) I am inclined to believe that both of these hypoteses will be found to hold good, -that in some instances, particularly in the case of *sensible* heat, or such as is indicated by the thermometer, heat will be found to consist in the living force of the particles of the bodies in which it is induced; whilst in others, particularly in the case of *latent* heat, the phenomena are produced by the separation of particle from particle, so as to cause them to attract one another through a greater space” (Joule 1847: 273-4).

No encontro da Associação Britânica de 1847, em Oxford, Joule apresenta uma comunicação sobre o equivalente mecânico do calor. As experiências expostas são análogas às da roda de pás de 1845, que será publicado com detalhe em 1850: graças a um sistema de roldanas, o movimento descensional de dois pesos é comunicado a uma roda-de-pás imersas num fluido, cuja rotação é obstaculizada pela construção do recipiente continente. Para além da água é também utilizado óleo de baleia.

O resultado final para o equivalente mecânico do calor das experiências com água destilada é de 781.5 lb.pé e com o óleo de baleia é 782.1. A média de ambos, 781.8 lb.pé, constitui o valor do equivalente mecânico do calor até serem realizadas experiências mais rigorosas, diz Joule.

O artigo do *Comptes rendu* versa a mesma temática. Joule tem em conta os valores do equivalente mecânico do calor obtidos em experiências anteriores e apresenta o resultado de uma experiência similar mas realizada com mercúrio.

Em 1850 surge um artigo de Joule nas *Philosophical Transactions* intitulado “Sobre o equivalente mecânico do calor”. Na parte inicial do artigo são apresentadas teses e experiências, doutros autores, corroborantes da teoria dinâmica do calor. A parte central do artigo é experimental: descrição do instrumento usado e apresentação dos resultados.

O artigo abre com um mote constituído por uma citação de Locke, o calor é movimento, e outra de Leibniz, a força do móvel é proporcional a  $mv^2$  ou à altura correspondente.

A parte experimental tinha por objectivo a determinação com maior exactidão do equivalente mecânico do calor.

A experiência consiste em fazer rodar as pás graças à queda de pesos.<sup>20</sup>

Deixa-se cair os pesos (fig. 4) e as roldanas movem-se. O movimento do fio põe o eixo em movimento ao qual estão fixamente as pás fixas imersas na água do calorímetro (fig. 5). O fluido inicia o movimento e choca com as placas do recipiente. O processo desenvolve-

---

<sup>20</sup> “The temperature of the frictional apparatus having been ascertained and the weights wound up with the assistance of the stand *h*, the roller was refixed to the axis. The precise height of the weights above the ground having then been determined by means of the graduated slips of wood *k, k*, the roller was set at liberty and allowed to resolve until the weights reached the flagged floor of the laboratory, after accomplishing a fall of about 63 inches. The roller was then removed to the stand, the weights wound up again, and the friction renewed. After this had been repeated twenty times, the experiment was concluded with another observation of the temperature of the apparatus” (Joule 1850: 305).

se. Quando os pesos atingem o solo eles são levantados e colocados na posição inicial. O mecanismo está preparado para recommear. Os pesos percorrem a distância 16 vezes.

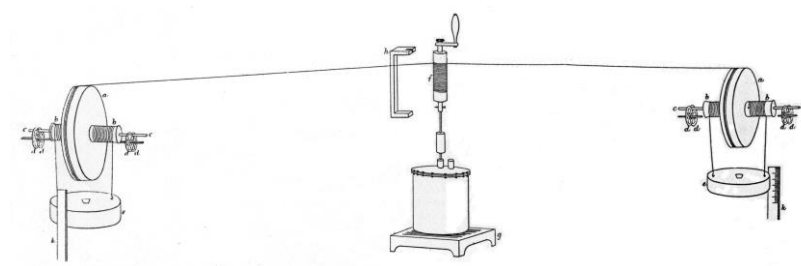


Fig 4 Esquema da experiência

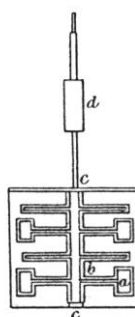


Fig 5 interior do calorímetro

As fricções são realizadas, para além da água, com mercúrio e ferro fundido. Com o mercúrio e o ferro fundido são realizadas duas séries, com diferentes pesos motores. Das experiências são apresentados os seguintes resultados:

- da experiência com água, 773.64 lb.pé para um grau Fahrenheit duma libra de água;<sup>21</sup>
- das do mercúrio, 773.762 e com menos pesos 776.303;<sup>22</sup>
- com o ferro fundido, 776.997 e 774.88.<sup>23</sup>

Joule apresenta os resultados no vácuo, sendo a média para a água de 772.692, mercúrio de 774.083 e ferro fundido de 774.987. Ele conclui que a quantidade de calor produzida pela fricção dos corpos, sólidos ou líquidos, é sempre proporcional à quantidade de força dispendida e que a quantidade de calor capaz de aumentar a temperatura de uma libra de água de 1º Fahr requer para a sua evolução o dispêndio de uma força mecânica representada pela queda de 772 lb. da altura dum pé.<sup>24</sup>

Em 1878, Joule viria a desenvolver uma experiência similar a esta, mas usando um instrumento de maior precisão (fig. 6).

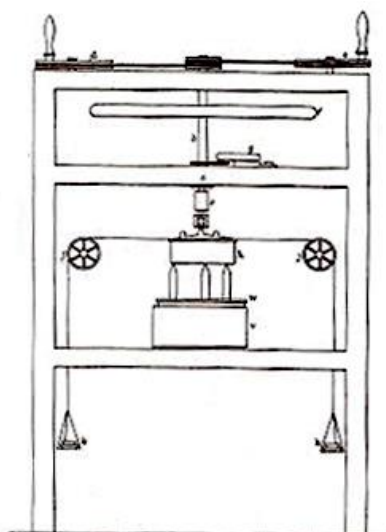


Fig 6

<sup>21</sup> “773.64 foot-pounds will be the force which, according to the above experiments on the friction of water, is equivalent to 1º Fahr. in a lb. of water” (Joule 1850: 312).

<sup>22</sup> “773.762; which is therefore the equivalent derived from the above experiments on the friction of mercury” (Joule 1850: 318); “776.303 will therefore be the equivalent from the above series of experiments, in which the amount of friction of the mercury was moderated by the use of lighter weights” (Joule 1850: 321).

<sup>23</sup> “776.997 will therefore be the equivalente derived from the above experiments on the friction of cast iron. The next series of experiments was made with the same apparatus, using lighter weights (Joule 1850: 325); “774.88 will therefore be the equivalent as derived from this last series of experiments (Joule 1850: 327).

<sup>24</sup> “That the quantity of heat produced by the friction of bodies, whether solid or liquid, is always proportional to the quantity of force expended. And, that the quantity of heat capable of inceasing the temperature of a pound of water (...) by 1º Fahr, requires for its evolution the expenditure of a mechanical force represented by the fall of 772 lb. through the space of one foot” (Joule 1850: 328)

Passemos ao trabalho de Colding. Em 1843, Colding apresentou uma comunicação à Sociedade das Ciências intitulada *Teses sobre a força*, que viria a ser publicada em 1856. Na parte inicial do artigo é apresentada uma tese que resulta duma observação: quando uma força actua sobre uma partícula, e estas não estão em equilíbrio, uma quantidade de movimento é criada, proporcional à força actuante e propaga-se ao ambiente circundante acabando por se tornar imperceptível.<sup>25</sup> Colding refere que este facto não é razão para se afirmar que algo se tenha perdido sem qualquer efeito. Ele pensa que é da própria natureza das coisas que as forças que percebemos como desaparecidas actuarem de uma outra forma.<sup>26</sup> Colding está tão convencido deste facto que propõe assim como lei geral da natureza que quando uma força aparentemente desaparece, ela apenas passa por uma transformação, tornando-se efectiva noutras formas.<sup>27</sup> Ele diz que é bem conhecido que quando certas forças desaparecem, de facto aparecem outras forças, como por exemplo, electricidade, calor, etc.

Colding realiza experiências de fricção de sólidos. Todas as experiências de outros autores referidos por Colding como estudos de compressão de gases de Dulong, estudos de compressão de líquidos de Colladon e Sturm, o calor obtido por fricção de Rumford, Haldat, Morosi, entre outras, e a sua própria experiência dizem respeito à relação força-calor.

Numa segunda parte do artigo é exposto o trabalho experimental realizado para corroborar a tese.

Colding realiza 10 séries de experiências. Em todas elas é medida a força motriz graças a um dinamómetro que é empregue para puxar um pequeno trenó e o calor

---

<sup>25</sup> "When certain moving forces act on a material particle (...) a quantity of motion is created, proportional to the acting force. This quantity of motion, in turn, is transmitted to the surrounding material particles and propagated from them in the same manner, without cessation, so that within a short time the originally introduced quantity of motion is distributed through such a large mass that no perceptible trace of this activity remains" (Colding 1972: 1).

<sup>26</sup> "it does not seem to me that there is any justification for assuming that some activity may be gradually lost in matter without in any way appearing as perceptible effect in its original amount; it seems to me even more in the nature of things that those forces which seemingly vanish must again appear, acting in other ways. This thought occurred to me long ago, and I have never been able to discard it" (Colding 1972: 1).

<sup>27</sup> "I have (...) become so convinced of the validity of this thesis that I will attempt to propose as a general law of nature: when a force seems to disappear it merely undergoes a transformation, where upon it becomes effective in other forms" (Colding 1972: 1).

desenvolvido através dos sensores. A diferença entre elas reside no peso do trenó e nos materiais friccionados: latão, zinco, chumbo, madeira de tília envolvida em flanela e ferro.

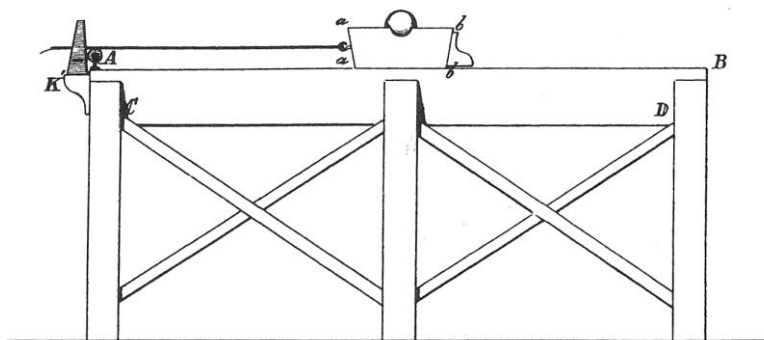


Fig 7 do artigo de Colding

O aparelho é constituído por duas barras paralelas em latão, com pouco mais de dois metros de comprimento, sobre as quais desliza um pequeno trenó (fig. 7). O trenó, representado no centro do segmento AB da imagem, é puxado à mão graças a um cordel que lhe está ligado numa extremidade. O trenó transporta bolas, cuja quantidade permite variar-lhe o peso. A distância percorrida pelo deslizante é a mesma em todas as experiências. O percurso é realizado duas vezes. A velocidade de percurso é sensivelmente a mesma em todas as experiências. A dilatação das fitas na base do trenó e das barras do carril fornecem a indicação sobre o calor desenvolvido. Para isto dispõe-se de um instrumento que reage à variação de comprimento e dá conta da variação de calor: há um sensor ligado ao trenó e outro a uma das barras.

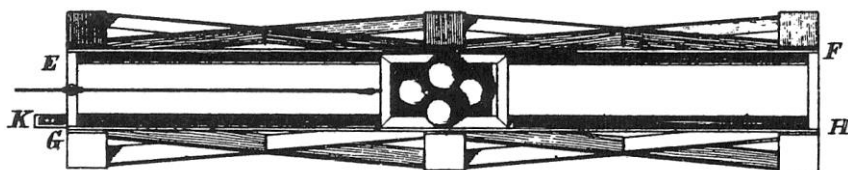


Fig 8 imagem vista de cima

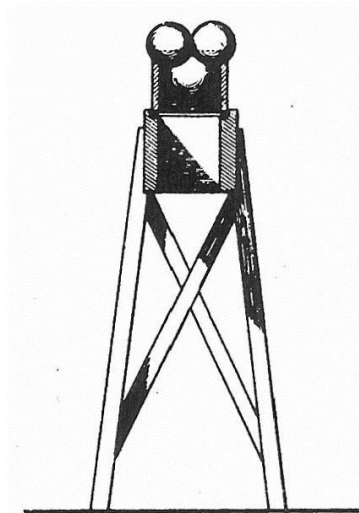


Fig 9 imagem vista de lado

Colding conclui que a quantidade de calor desenvolvida é em todos os casos proporcional à força motriz perdida, confirmando a tese, as forças da natureza não se perdem, apenas se transformam, reaparecendo noutras formas.

No encontro da BAAS em 1847, em Oxford, Thomson encontrou-se com Joule (Smith 2003, p. 292). Durante o encontro, Thomson tomou conhecimento dos trabalhos de Joule. Ele apreciava-os, mas via uma dificuldade na tese da convertibilidade recíproca de calor e trabalho, ela contrariava a teoria de Carnot. Thomson não aceita a conversão de calor em trabalho. Em 1848 publica o artigo no qual propõe a escala de temperatura absoluta que é baseada na teoria do calor substância, contrária à tese de Joule, e em 1849 um artigo, defendendo a tese de Carnot, o calor é substância. Porém, em 1850 surgem dois artigos que viriam a alterar a perspectiva de Thomson: o de Rankine e o de Clausius.

Em 1850, Rudolf Clausius produziu a primeira reconciliação de Joule e Carnot. Aceitando uma teoria mecânica do calor e a convertibilidade mútua do calor em trabalho de Joule, Clausius reteve a parte da teoria de Carnot que requeria a transferência de calor de uma alta para uma baixa temperatura para a produção de trabalho. Sob esta nova teoria, uma



porção inicial de calor foi convertida em trabalho de acordo como equivalente mecânico do calor e a remanescente desceu até à temperatura mais baixa (Smith 2003, p. 298).

No mesmo ano, Rankine, deu atenção ao poder motor do calor sob uma perspectiva de uma hipótese de vortex molecular. Na hipótese de Rankine, cada átomo de matéria era constituído por um núcleo central, envolvido por uma atmosfera elástica, que é mantida por atracção ao centro. As atmosferas estariam em revolução e oscilação. A quantidade de calor seria explicada pela *vis viva*. A temperatura seria uma função da velocidade de revolução nos vórtices moleculares e do coeficiente de elasticidade das atmosferas atômicas. O calor e a temperatura eram explicados em função do movimento.

Em 1850, Thomson e Rankine começaram a avaliar a teoria de Clausius da reconciliação de Joule e Carnot e finalmente em 1851, Thomson aderiu à teoria do calor movimento (Março).

Em Dezembro de 1851, Thomson definiu pela primeira vez energia, mais exactamente energia mecânica. Por energia mecânica dum corpo num dado estado é entendido o valor mecânico dos efeitos que o corpo produziria, se passasse desse estado a outro tomado por referência ou o valor mecânico requerido para levar o corpo do estado padrão ao estado em questão.<sup>28</sup>

Em 1852, Thomson defende a tese, existir uma tendência universal para a dissipação da energia mecânica utilizável. A justificação é a seguinte. Pela proposição de Carnot, na teoria dinâmica do calor, há perda de energia mecânica, se a transformação não for realizada por uma máquina perfeita. Ora, para Thomson, só o Poder Criador pode criar ou aniquilar a energia mecânica. A perda consiste portanto numa transformação. Para explicar esta transformação dissipativa, Thomson introduziu uma distinção entre energia estática e dinâmica. Pela primeira entende-se energia dos corpos em repouso enquanto a energia dinâmica está associada ao movimento.

Em 1853, Rankine introduziu a distinção entre energia potencial ou latente e energia actual ou sensível.<sup>29</sup> Thomson e Tait substituíram a energia actual por energia cinética em

---

<sup>28</sup> “The “mechanical energy of a body in a given state”, will denote the mechanical value of the effects the body would produce in passing from the state in which it is given, to the standard state, or the mechanical value of the whole agency that would be required to bring the body from the standard state to the state in which it is given” (Thomson 1851: 475).

<sup>29</sup> “All conceivable forms of energy may be distinguished into two kinds; actual or sensible, and potential or latent” (Rankine 1853: 106).

1862 e mantiveram energia potencial. A razão desta mudança reside no facto de, segundo os autores, por um lado, energia cinética indicar a forma na qual a energia se revela, o movimento;<sup>30</sup> por outro, a sua grandeza ser calculada em função da massa e da velocidade do corpo.<sup>31</sup> Thomson e Tait definem a energia cinética como a metade do produto da massa pelo quadrado da velocidade,  $\frac{1}{2}mv^2$ .

A *Theory of Heat* de Maxwell é publicada várias vezes nos anos 1870. Aí, a energia de um corpo é definida como a sua capacidade de realizar trabalho.<sup>32</sup> Maxwell não diz que o calor é uma forma de energia mas que devemos entender como tal porque obtemos calor através de trabalho.<sup>33</sup> Maxwell mostra que a energia negativa é realmente impossível e que o calor não pode ser uma substância.<sup>34</sup>

Oliver Lodge (1879) criticou a definição da energia como a capacidade de realizar trabalho.<sup>35</sup> A razão da crítica é explicada pela metáfora do capital: a energia seria poder de realizar trabalho, como o capital é poder de compra, mas só se pode concretizar o poder, se existem coisas para comprar.<sup>36</sup> A energia passa a ser definida como o efeito resultante do trabalho realizado sobre o corpo.

A conservação da energia supõe os seguintes passos. Lodge parte da terceira lei de Newton, defendendo que toda a relação entre dois corpos é do tipo acção-reacção. Ora, se sobre um corpo é feito trabalho, o corpo ganhou energia. Se o próprio corpo realiza trabalho,

---

<sup>30</sup> "(...) It had KINETIC or (as it has sometimes been called) actual energy. We prefer the first term, which indicates motion as the form in which the energy is displayed" (Thomson; Tait 1862: 602).

<sup>31</sup> "Kinetic energy depends on motion; and observation shows that its amount in each case is calculable from the mass which moves and the velocity with which it moves" (Thomson; Tait 1862: 602).

<sup>32</sup> "the energy of a body may be defined as the capacity which it has of doing work" (Maxwell 1872: 90).

<sup>33</sup> "The reason for believing heat to be a form of energy is that heat may be generated by the application of work, and that for every unit of heat which is generated a certain quantity of mechanical energy disappears" (Maxwell 1872: 93).

<sup>34</sup> "The reason for believing heat not to be a substance is that it can be generated, so that the quantity of it may be increased to any extent, and it can also be destroyed, though this operation requires certain conditions to be fulfilled" (Maxwell 1872: 93).

<sup>35</sup> "This definition of energy, as the effect produced in a body by an act of work, is not so simple as the usual one—'the power of doing work' but this latter definition seems a little unhappy" (Lodge 1879: 279).

<sup>36</sup> "energy is power of doing work in precisely the same sense as capital is the power of buying goods. (...) money is a power of buying goods. It does not, however, necessarily confer upon its owner any buying-power, because there may not be any accessible person to buy from; and if there be, he may have nothing to sell. Just so with energy: it usually (...) confers upon the body possessing it a certain power of doing work, which power it loses when it has transferred it" (Lodge 1879: 279).

então diz-se que fez anti-trabalho, o que equivale a perda de energia. Como trabalho e anti-trabalho são iguais em valor absoluto, continua Lodge, a energia conserva-se. A conservação é expressa na forma, a energia não é produzida nem destruída, mas simplesmente transferida.

Em 1885, na sequência dos trabalhos de Poynting de 1884 “Sobre a transferência de energia no campo electromagnético”, Lodge publicou um artigo intitulado “Sobre a identidade da energia”.

Lodge refere que Poynting introduz a ideia de continuidade na existência da energia. Isto representa, diz Lodge, uma extensão do princípio de conservação, uma vez que pelo princípio da conservação da energia havia a constância da quantidade e agora conhece-se a própria trajectória. Pode-se seguir uma quantidade de energia até ao seu aparecimento noutro lado e com outra forma. Lodge acrescenta que esta nova forma da doutrina da conservação da energia é mais simples e satisfatória. A conservação da energia é também conservação na nova forma, a identificação da energia, em que a energia pode ser vista a cada instante, sendo a sua existência contínua, possuindo identidade.

Em 1887 surge um livro de Planck dedicado ao princípio de conservação da energia. O trabalho teve origem numa questão colocada a concurso pela Faculdade Filosófica de Goettingen: desde Thomas Young (1807) que muitos físicos atribuíam energia aos corpos e desde Thomson (1855) que se falava dum princípio de conservação da energia válido para todos os corpos, pelo qual parecia entender-se o que Helmholtz tinha expresso por princípio de conservação da força. Formulada a questão, exigia-se o seguinte: um estudo histórico sobre a evolução semântica de energia e o seu uso em física; uma investigação sobre as formas de energia; e como se pode formular e provar o princípio de conservação da energia como lei geral da natureza.

Planck apresenta a seguinte definição de energia. Designa-se por energia (capacidade de realizar trabalho) dum sistema num dado estado, o valor de todos os efeitos, medidos em unidades de trabalho, que são originados fora do sistema, quando ele passa desse estado a um outro fixado arbitrariamente como o estado nulo, qualquer que seja o modo de passagem.<sup>37</sup> Após a definição Planck criticou o conceito de energia como substância. Uma das críticas está

---

<sup>37</sup> “(...) bezeichnen wir die Energie (Fähigkeit, Arbeit zu leisten) eines materiellen Systems in einem Zustand als den in mechanischen Arbeitseinheiten gemessenen Betrag aller Wirkungen, welche ausserhalb des Systems hervorgebracht werden, wenn dasselbe aus seinem Zustand auf beliebige Weise in einen nach Willkür fixierten Nullzustand übergeht” (Planck 1887: 104).

expressa adiante: a energia não pode ser localizada num sistema e como tal não pode ser considerada uma substância.

Em 1894, Hertz criticou o conceito de energia como uma substância.<sup>38</sup> Ele argumenta que a quantidade de uma substância é uma quantidade positiva enquanto a energia potencial de um sistema pode ser negativa.<sup>39</sup> Assim, a energia não pode ser considerada uma substância porque ela possui propriedades que contradizem o conceito de substância.

Ernst Mach (1896) escreve uma história sobre a ciência do calor, incluindo uma história sobre o desenvolvimento da Termometria, da Calorimetria, da Teoria da Condução e Radiação do calor e da Termodinâmica. Relativamente à descoberta da energia podemos registrar as seguintes teses de Mach:

-sustenta que Carnot nas suas notas posteriores a 1824 e publicadas em 1878, desistiu da sua crença na constância da quantidade de calor e assumia que o calor era produzido pelo trabalho mecânico e inversamente trabalho por calor. Porém, defende que a transformação do trabalho em calor e vice-versa foi expressa por Robert Mayer em 1842.<sup>40</sup> O autor atribui a prioridade da publicação do equivalente mecânico do calor a Mayer;<sup>41</sup>

-em 1843, Colding também se ocupou de pensamentos semelhantes. Mas, para Colding, as forças são de natureza espiritual, e não podem ser destruídas mas apenas transformadas;

-em 1843, Joule iniciou uma série de experiências que continuaram até 1878, provando a validade da proporcionalidade entre trabalho e calor e determinando o equivalente mecânico do calor;

---

<sup>38</sup> “Mehrere ausgezeichnete Physiker versuchen heutzutage, der Energie so sehr die Eigenschaften der Substanz zu leihen, daß sie annehmen, jede kleinste Menge derselben sei zu jeder Zeit an einen bestimmten Ort des Raumes geknüpft und bewahre bei allem Wechsel desselben und bei aller Verwandlung der Energie in neue Formen dennoch ihre Identität” (Hertz 1894: 25–26).

<sup>39</sup> “Die Menge einer Substanz ist eine notwendig positive Größe; die in einem System enthaltene potentielle Energie scheuen wir uns nicht, als negativ anzunehmen” (Hertz 1894: 26).

<sup>40</sup> “The transformation of work into heat and reciprocally was expressed quite clearly by the Heilbronn physician Julius Robert Mayer in the year 1842” (Mach 1896: 224).

<sup>41</sup> “His publication also contained a fairly accurate determination of the mechanical equivalent of heat (...) Mayer has the priority of publication over all other physicists” (Mach 1896: 224).

-na primeira publicação de Mayer de 1842, apenas a transformação de calor em trabalho e vice-versa eram consideradas. Apenas no livro de 1845, Mayer estende esta ideia ao princípio da conservação da energia;<sup>42</sup>

-e o artigo de 1847 de Helmholtz foi um suplemento necessário à memória de Mayer.<sup>43</sup> Segundo Mach, o que em Mayer era um programa, com Helmholtz, dois anos mais tarde, resultou num estudo profundo como se todas as sementes em física tivessem subitamente nova vida e crescimento.<sup>44</sup>

Ostwald e Georg Helm fizeram a apologia da energética no congresso de ciência de 1895, em Luebeck (cf. Hiebert 1971). A 67ª reunião anual da sociedade alemã de cientistas e médicos em Luebeck em Setembro de 1895, deu lugar a uma discussão da filosofia da energética em torno da *Lecture* intitulada *A Conquista do Materialismo Científico* de Wilhelm Ostwald. Havia uma controvérsia entre os proponentes da energética (principalmente químicos) e opositores da energética (principalmente físicos). Georg Helm defendia a posição de Ostwald. Boltzmann e Planck eram opositores da energética, os cineticistas. A energética sustentava que a energia e não a matéria era o constituinte básico do universo. Uma parte importante do programa da energética era a rejeição dos modelos mecânicos.

Segundo Sommerfeld, a filosofia natural de Mach estava por detrás da posição de Helm e que era semelhante à de Robert Mayer que em 1842 calculou o equivalente mecânico do calor. Ostwald era realista, tomando a energia como a substância primordial do mundo.

Vamos fazer uma referência especial a Ostwald porque ele teve um papel importante na história da energia.

---

<sup>42</sup> “In Mayer’s first publication, only the transformation of heat into work and reciprocally were considered. In his second publication of 1845, the idea had already gained in generality, and had extended to what we now call “the principle of the conservation of energy”” (Mach 1896: 225).

<sup>43</sup> “A necessary supplement to Mayer’s memoir was formed by the tract of Helmholtz *Ueber di e Erhaltung der Kraft* which appeared in 1847” (Mach 1896 : 226).

<sup>44</sup> “What, with Mayer, makes more the impression of something immediately perceived, looks here more like the necessary result of a profound and thorough study. It is as though all the seeds which lay in physics had suddenly received new life and growth” (Mach 1896 :226).

### I.1.1. Ostwald

Wilhelm Ostwald (1853-1932) nasceu a 2 de Setembro de 1853 em Riga, Letónia, na altura, parte do Império Russo; morreu a 4 de Abril de 1932 em Leipzig, Alemanha.

Filho de pais alemães, foi educado primeiro em Riga, depois na Universidade de Dorpat (Tartu) na Estónia, onde estudou química com Carl Schmitt e Johann Lemberg. Também estudou física com Arthur von Detting. Concluiu o doutoramento em 1878.

Casou em 1880. O seu filho Wolfgang (1883-1943) foi também um físico reconhecido; e a sua filha Grete escreveu a sua biografia (1953).

Ostwald foi nomeado professor na Politécnica de Riga em 1881; e para a cátedra de química física em Leipzig em 1887.

É ainda nos anos de Riga que publica os seus ambiciosos manuais: *Lehrbuch der allgemeinen Chemie* (2 vol. 1885 e 1887), conhecidos pelos estudantes como o “grande Ostwald”; e começa o *Grundriss der allgemeinen Chemie* (1889), conhecido como o “pequeno Ostwald”.

Em 1902 inventou o “processo de Ostwald” usado na produção de ácido nítrico. Em 1905, por divergências com as autoridades universitárias, demite-se e passa o ano de 1905-6 como professor visitante na Universidade de Harvard. Retirou-se do ensino em 1906. Em 1909 é-lhe atribuído o Prémio Nobel da Química pelo seu trabalho sobre catálises, equilíbrios químicos e velocidades de reacção.

Dedicou o resto da sua vida a trabalhos metodológicos literários e filosóficos e de história da ciência.

### I.1.1.1. Energia

Em 1908 Ostwald publica o livro *Die Energie*. Os seis primeiros capítulos da obra fazem uma abordagem histórica do conceito; os restantes seis desenvolvem a concepção da energia ou energética. Nestes últimos capítulos é apresentada uma explicação pela energética dos fenómenos físico-químicos e também dos fenómenos da vida, da vida psíquica e da vida em sociedade.

Na introdução lê-se: a energia encarna o verdadeiro real. Isto é entendido num duplo sentido. É o real porque é actuante no que acontece; e é real porque constitui o conteúdo dos acontecimentos.<sup>45</sup> A energia é uma coisa real, uma substância.

Neste livro, Ostwald aproxima o homem dos animais no domínio biológico. O eu, está ligado à memória. Ostwald diz que sem memória, sem recordações, o eu desaparece.<sup>46</sup> Há uma identidade do eu com a memória. Não podemos dizer que o eu tem uma recordação mas que o eu é a recordação.<sup>47</sup>

Ostwald diz que de uma maneira geral só temos em cada momento uma coisa na nossa consciência que é envolvida por coisas acessórias. Não é possível a presença simultânea na nossa consciência de todas as nossas recordações possíveis. Temos acesso a elas através da recordação.<sup>48</sup>

---

<sup>45</sup> “Die Energie ist daher in allen realen oder konkreten Dingen als wesentlicher Bestandteil enthalten, der niemals fehlt, und insofern können wir sagen, daß in der Energie sich das eigentlich Reale verkörpert. Und zwar ist die Energie das Wirkliche in zweierlei Sinn. Sie ist das Wirkliche insofern, als sie das Wirkende ist; wo irgend etwas geschieht, kann man auch den Grund dieses Geschehens durch Kennzeichnung der beteiligten Energien angeben. Und zweitens ist sie das Wirkliche insofern, als sie den Inhalt des Geschehens anzugeben gestattet” (Ostwald 1908: 5).

<sup>46</sup> “Wir erkennen, daß dem Ich zunächst wieder jenes allgemeine Vermögen der Organismen, die Erinnerung, zugrunde liegt. Dies ergibt sich zunächst daraus, daß mit dem Schwinden der Erinnerung auch das Ich schwindet” (Ostwald 1908: 151).

<sup>47</sup> “Man wird also nicht sagen: das Ich hat die Erinnerung, sondern man muß sagen: es ist die Erinnerung” (Ostwald 1908: 151).

<sup>48</sup> “Es kann also keine Rede davon sein, daß in jedem Augenblicke die Gesamtheit unserer möglichen Erinnerungen im Bewußtsein vorhanden wäre. Aber wir sind uns immer der Fähigkeit bewußt, die Mehrzahl unserer früheren Erlebnisse, wenigstens soweit wir Interesse an ihnen genommen und behalten haben, uns als Erinnerungen zurückzurufen.” (Ostwald 1908: 152).

Podemos dizer que Ostwald distingue duas zonas na área da consciência: a consciência actual e o inconsciente.

Todos os fenómenos biológicos incluindo os psíquicos são subsumidos pela energia, particularmente a energia química. No caso dos fenómenos psíquicos, nenhum processo psíquico tem lugar sem um consumo correspondente de energia.<sup>49</sup>

Para Ostwald, o homem distingue-se dos restantes animais pela sua capacidade de transformar as energias brutas que recebe da natureza.<sup>50</sup> O homem ao contrário dos animais possui instrumentos que lhe permitem transformar a energia de uma maneira determinada e apropriada ao seu fim.<sup>51</sup>

Ostwald diz que todas as actividades devem ser realizadas com o mínimo de desperdício de energia possível. Ele fala num coeficiente de transformação como a medida deste dispêndio de energia. O homem deve realizar uma determinada tarefa com o menor desperdício de energia. Quanto mais adequada e profícua for uma determinada tarefa menor será o coeficiente de transformação, pois menos energia é desperdiçada e transformada.

Ostwald alarga o domínio da energética ao plano social e cultural com o mesmo propósito. Toda a actividade social e cultural é subsumida pela energia. As actividades mais profícuas têm um menor desperdício de energia.

Ostwald sustenta que há diferentes formas de energia e que elas são distintas umas das outras, pois se não fossem diferentes não as poderíamos distinguir umas das outras.<sup>52</sup>

O papel da ciência é procurar estas diferenças com a maior clareza e exatidão para obter uma representação correcta das realidades.<sup>53</sup>

---

<sup>49</sup> “Als Grundlage hierfür ist die allseitig zugegebene Tatsache anzusehen, daß kein geistiger Vorgang ohne entsprechenden Energieverbrauch stattfindet” (Ostwald 1908: 154).

<sup>50</sup> “Das Tier ist auf sie angewiesen; es verzehrt seine Nahrung ohne Zubereitung und verfügt über seine Muskeln nur unter Anwendung derjenigen Transformatoren, die ihm seine eigenen Glieder darbieten. Der Mensch dagegen beeinflußt die rohen Energien der Natur in mannigfaltigster Weise für seine Zwecke, und die Art sowie das Maß dieser Beeinflussung ist das, was wir Kultur nennen” (Ostwald 1908: 160).

<sup>51</sup> “Der charakteristische Unterschied zwischen Mensch und Tier liegt, wie längst bekannt, darin, daß der Mensch Werkzeug besitzt. Nun ist alles Werkzeug nichts als seine Vorrichtung, um Energie in bestimmter zweckentsprechender Weise zu transformieren” (Ostwald 1908: 160-1).

<sup>52</sup> “Sie stützt sich auf die grundlegende Tatsache, daß die Energien wirklich verschieden sind, den wären sie es nicht, so könnten wir sie eben nicht unterscheiden” (Ostwald 1908: 94).

<sup>53</sup> “Somit ergibt es sich als Aufgabe der Wissenschaft, diese Verschiedenheiten mit der größten Schärfe und Bestimmtheit herauszuarbeiten, schon um eine zutreffende Darstellung der Wirklichkeiten zu gewinnen”(Ostwald 1908: 95).



### I.1.1.2. Dualismo matéria-energia

Ostwald analisa o problema do dualismo matéria e energia. Para ele, o dualismo matéria e energia pode ser superado pois a energia pode subsumir a matéria.<sup>54</sup> Com isto, desaparece o dualismo matéria e energia, colocando-se a questão como é o espírito se relaciona com a energia.<sup>55</sup> E Ostwald conclui que o espírito pode ser subsumido pela energia.<sup>56</sup>

Ostwald defende que a energia torna a matéria supérflua pois as propriedades da matéria podem ser dadas pelas formas de energia. Por exemplo, os átomos possuem massa e peso. A massa é um factor da energia de movimento e o peso é um factor da energia de gravitação.<sup>57</sup> Massa e peso são factores da energia e Ostwald designa-os por factores materiais por estarem relacionados com o que se entendia por matéria.<sup>58</sup> Ele acresce que o conceito de energia pode explicar as propriedades dos corpos, como o calor e as propriedades químicas que por uma ou outra razão não fazem parte do conceito de matéria.<sup>59</sup> Ostwald defende que a

---

<sup>54</sup> “Aber wir werden später sehen, daß auch damit bei weitem noch nicht das letzte Wort gesagt ist. Auch der Dualismus Materie-Energie läßt sich beseitigen, indem der Begriff der Materie als ein untergeordneter und nicht einmal besonders glücklicher sich herausstellen wird” (Ostwald 1908: 60).

<sup>55</sup> “Hierdurch verschwindet natürlich auch der Dualismus Geist-Materie und es entsteht die Frage, wie sich die Energie zum Geist verhält” (Ostwald 1908: 60).

<sup>56</sup> “Dies ist nun der weiteste Fortschritt, den die Wissenschaft in dieser Richtung gewagt hat, daß sie auch diese beiden Wesenheiten als gleichartig ansieht und den Begriff des Geistes auch von dem der Energie absorbieren läßt” (Ostwald 1908: 60).

<sup>57</sup> A energia de movimento é um meio do produto da massa pelo quadrado da velocidade e a energia de gravitação o produto do peso pela altura.

<sup>58</sup> “Materielle Faktoren nenne ich die fraglichen Größen deshalb, weil durch sie der alte Begriff der Materie bedingt wird” (Ostwald 1908: 111).

<sup>59</sup> “Den Wärmeinhalt der Körper pflegen wir nicht zur Materie zu rechnen, obwohl es sich ebenso um eine besondere Energieart handelt (...) Es liegt dies daran, daß wir [...] Ein weiterer, tieferer Grund aber ist der folgende (...)” (p. 124). “Die chemische Energie (...) gehört ebenso wie die vorher genannten Grundenergien zu dem eisernen Bestande eines jeden Körpers und hat ausgesprochen “materiellen” Charakter. Man muß es nur der Unkenntnis der chemischen Erscheinungen zu der Zeit, wo der Begriff der Materie festgestellt wurde, zuschreiben” (Ostwald 1908: 125).

energia subsume a matéria e as propriedades da matéria, pelo que dispensa o conceito de matéria.<sup>60</sup>

### **I.1.1.3. Organismos vivos**

Os seres vivos, em particular o ser humano, estão em permanente troca de energia com o exterior.<sup>61</sup> A energia química seria a mais fundamental para o ser vivo.

Ostwald vai referir-se às características essenciais dos seres vivos. Os seres vivos são sistemas estacionários porque apesar de sofrerem mudanças internas têm uma certa estabilidade.<sup>62</sup> Mas, a natureza estacionária não é suficiente para caracterizar os seres vivos pois há coisas estacionárias que não são seres vivos como é o caso por exemplo de uma chama.

Para que um corpo permaneça continuamente numa condição estacionária o material que o constitui deve ser permanentemente abastecido. Este material consiste na maioria de substâncias ponderáveis ou químicas com propriedades físicas e químicas definidas, sendo a mudança da substância ou metabolismo uma propriedade necessária do corpo estacionário.<sup>63</sup> Assim, uma outra característica dos seres vivos é a nutrição. E uma condição para haver

---

<sup>60</sup> “So sehen wir die Materie überflüssig werden, weil wir sie analysiert und ihre Bestandteile erkannt haben” (Ostwald 1908: 124).

<sup>61</sup> “Von unserem Standpunkte ist ein wesentliches, wenn auch nicht das zureichende Kennzeichen des Lebens die beständige Energiebetätigung“ (Ostwald 1908: 129).

<sup>62</sup> “Ein solches Gebilde, welches trotz inneren Wechsels einen gewissen Bestand beibehält, nennt man ein stationäres Gebilde; Lebewesen sind daher in erster Linie stationäre Wesen” (Ostwald 1908: 129).

<sup>63</sup> “For a body to continue permanently in a stationary condition the material of which it is composed must be permanently supplied. (...) This material consists in the main of ponderable or chemical substances of definite physical and chemical proprieties, and thus the change of substance, metabolism, appears as a necessary property of the stationary body” (Ostwald 1910: 164-5).

metabolismo é a existência de energia livre, pois é a energia livre que pode causar a substância a mudar.<sup>64</sup> A energia livre é assim a causa da mudança.

A terceira característica dos seres vivos é a reprodução.

Como referido atrás, a energia química é a mais fundamental para o ser vivo pois ela é de todas as espécies de energia a mais concentrada e ao mesmo tempo a que se conserva melhor.<sup>65</sup>

É o Sol que fornece a energia livre que os seres vivos utilizam. Ostwald diz que é a energia química que tem a capacidade de transformar a energia livre do Sol numa energia duradoura e apropriada que se mantém na ausência do Sol. Os alimentos que usamos são constituídos por energia química. Os nossos músculos trabalham graças à energia química e a acção dos nervos também está ligada a esta energia. Ostwald acrescenta que os fenómenos psíquicos como a memória têm origem em relações químicas.<sup>66</sup> Há uma materialização química do mundo.

A abordagem dos fenómenos psíquicos desenvolve-se em duas alíneas. Por um lado, a discussão tradicional entre matéria e espírito; por outro, a relação do espírito com a energia.

Para Ostwald, aquilo que se relaciona com o espírito é expressável em termos energéticos.<sup>67</sup> As impressões dos sentidos são entendidas como passagem de energia. A recepção pelos nervos é vista como transformação de energia e a comunicação entre os nervos como propagação de energia.<sup>68</sup> A energia dos nervos é dita energia psíquica cuja base seria a energia química.<sup>69</sup>

---

<sup>64</sup> “In order, however, that metabolism should take place we must have free energy, or energy having the capacity to work, since it is only free energy that can cause substances to change” (Ostwald 1910: 165).

<sup>65</sup> “Alle Lebewesen bauen ihr energetisches System in erster Linie auf chemische Energie auf. Die Ursache hierfür ist, daß chemische Energie die konzentrierteste und gleichzeitig aufbewahrungsfähigste Form unter allen Energiearten ist” (Ostwald 1908: 133).

<sup>66</sup> “Unsere Nahrungsmittel bestehen aus chemischer Energie (...) Unsere Muskeln arbeiten mit chemischer Energie und ebenso ist die noch so geheimnisvolle Wirkungsweise der Nerven gleichfalls mit dieser Energieart auf das engste verbunden. Vor allen Dingen aber beruht aller Wahrscheinlichkeit nach eine besondere Eigentümlichkeit aller Lebenserscheinungen gleichfalls auf chemischen Verhältnissen, nämlich die Erscheinung des Gedächtnisses im allgemeinsten Sinne, wie sie zuerst von E. Hering erkannt worden ist” (Ostwald 1908: 134).

<sup>67</sup> “(...) glaube ich so auffassen zu dürfen, daß die geistigen Geschehnisse ebenso sich als energetische auffassen und deuten lassen, wie alle übrigen Geschehnisse auch” (Ostwald 1908: 144).

<sup>68</sup> “Nun haben wir bereits gesehen, daß ein Sinneseindruck ganz allgemein beschrieben werden kann als ein Energieübergang zwischen der Außenwelt und einem Körperteil, der durch besondere Organisation empfindlich

O dilema matéria espírito deixaria de se colocar, uma vez que os fenómenos psíquicos podem ser dados em termos energéticos e Ostwald já tinha mostrado que o conceito de matéria era dispensável.<sup>70</sup> A energia pode explicar os fenómenos que eram tradicionalmente atribuídos ao espírito e à matéria.

Em 1910, Ostwald publica o livro *Natural Philosophy*. A última parte do livro é dedicada às ciências biológicas. Ostwald subsume todos os fenómenos biológicos à energia, particularmente a energia química.

Ostwald sustenta que os organismos não são formas estáveis mas estacionárias. Esta distinção radica no facto duma forma estável estar em repouso ou imutável em todas as suas partes enquanto um corpo estacionário ainda que pareça imutável na sua forma, está internamente em constante mudança das suas partes.<sup>71</sup>

A energia livre é armazenada e transformada pelos organismos em energia química. A necessidade de substâncias e energia estão em regra combinadas. Nos organismos, estas duas necessidades combinadas chama-se nutrição.<sup>72</sup>

Ostwald sustenta que a energia química é a única forma de energia capaz de reproduzir as características essenciais dos organismos.

Como em *Die Energie*, os organismos obtêm a energia livre através da radiação solar. Os organismos transformam a radiação solar, uma forma extremamente transitória de energia,

---

für kleine Energieunterschiede gemacht worden ist. Die Tatsache, daß verschiedenartige Energien, die auf den gleichen Apparat wirken, doch Empfindungen gleicher Art auslösen (z.B. Lichterscheinungen durch mechanische Einwirkung auf den Sehnerven), erfordert die Deutung, daß bereits im Sinnesapparat eine Umformung der äußeren Energie in eine andere Form stattfindet, welche durch den Nerv fortgepflanzt wird (...) Wir wissen aber, daß irgendeine Energie fortgepflanzt wird (...) Wir wollen also der Kürze wegen von Nervenenergie reden“ (Ostwald 1908: 145).

<sup>69</sup> “Wohl aber wissen wir, daß die Quelle dieser psychischen Energie chemischer Natur ist“ (Ostwald 1908: 153).

<sup>70</sup> “Es besteht (...) gar nicht mehr die Aufgabe, zu ermitteln, wie Geist und Materie in Wechselwirkung treten können, sondern es entsteht die Frage, wie sich der Begriff der Energie, der viel weiter als der der Materie ist, zu dem Begriff des Geistes stellt“ (Ostwald 1908: 144).

<sup>71</sup> “The first peculiarity is this, that living organisms are not stable but stationary forms. This distinction is based upon the fact that a stable form is at rest or unchangeable in all its parts, while a stationary body, though it seems unchangeable in its form, internally undergoes a constant change of its parts” (Ostwald 1910: 163).

<sup>72</sup> “But since, as we have already said, the energy of organisms is stored up and used in the main in the form of chemical energy, the two tasks which a stationary body has to perform, that of meeting the need for substances and for energy, are as a rule externally combined. In organisms these two necessities combined are called nutrition, and thus we recognize in the capacity for self-acquisition of nutrition another essential property of organisms” (Ostwald 1910: 165).

em energia química, uma forma permanente de energia, e armazenam-a.<sup>73</sup> Este processo foto-químico é realizado pelas plantas.

Este processo envolve uma interacção entre o carbono e o oxigénio. Há formação de ácido carbónico e depois libertação do oxigénio. O carbono é o substrato da energia química.

Os organismos são máquinas especializadas físico-químicas. A memória é a propriedade que distingue os organismos das máquinas sem vida.<sup>74</sup>

Os seres inanimados e os organismos têm a propriedade de adaptação. Nos seres mais primitivos esta qualidade de adaptação é uma reacção reflexa a estímulos. Nos seres mais sofisticados esta reacção envolve a construção de conceitos, é um acto consciente.<sup>75</sup>

Tal como em *Die Energie*, para Ostwald, todos os fenómenos na natureza podem ser subsumidos pela energia. Os fenómenos biológicos incluindo os psíquicos são subsumidos pela energia, particularmente a energia química. A energia química é a única forma de energia capaz de reproduzir as características essenciais dos organismos.

De acordo com as teorias neuropsicológicas actuais, os fenómenos psíquicos têm origem na transmissão de neurotransmissores ao nível das fendas sinápticas dos neurónios. Mas como iremos ver no capítulo II, a base dos fenómenos biológicos é a bomba electrogénica de sódio-potássio ao nível das membranas celulares. Assim, a base dos fenómenos psíquicos não é apenas química mas sim físico-química. Ostwald aproxima-se de uma visão actual do mundo mas apenas dos modelos teoria-experiência hodiernos. A essência do conceito de energia transcende estes modelos contingentes. Torna-se necessário pois distinguir a essência do conceito de energia e os diversos modelos de energia contingentes.

---

<sup>73</sup> “It is comprehensible, therefore, that machines should have evolved in the organism for transforming the radiant energy of the sun into a permanent form, and, as we have already learned, chemical energy is permanent, while radiant energy is an extremely transitory form of energy, that is, it changes very readily” (Ostwald 1910: 169).

<sup>74</sup> “Our observations so far have shown the organisms to be extremely specialized individual instances of physico-chemical machines. Now we have to take into consideration a property which seems markedly to distinguish them from the lifeless machines, and we have already encountered in the very beginning of our treatise. It is the property which we called memory” (Ostwald 1910: 171-2).

<sup>75</sup> “In its most primitive forms the quality of adaptation gives rise to the phenomena of reaction, or to reflex actions, that is, to a series of processes in the organism in response to the stimulus of an outward energy. (...) Finally, there are the conscious acts which appear to us to be the highest degree of the series” (Ostwald 1910: 173-4).

#### I.1.1.4. Historiografia sobre Ostwald

Hakfoort (2006) salienta o papel do energeticismo na teoria de Ostwald. A perfeição de um organismo ou organização é entendida pelo grau de eficiência de transformação de energia.<sup>76</sup>

Deltete (2006) sustenta que Ostwald começa por dizer que a matéria e a energia têm o mesmo estatuto ontológico, são reais. Matéria e energia são reais porque não são produções humanas e não estão dependentes do pensamento humano para a sua existência. Elas não são construções mentais colocadas no mundo mas são existências reais que são descobertas no mundo.<sup>77</sup> A energia é uma substância porque, tal como a matéria, ela persiste através de toda a mudança e obedece a uma lei de conservação quantitativa.<sup>78</sup>

O autor defende que Ostwald inicialmente partilha do ponto de vista de Mayer. Porém, Ostwald vai posteriormente dizer que a matéria está conceptualmente subordinada à energia e que apenas a energia é genuinamente real.<sup>79</sup> E esta supremacia da energia relativamente à matéria deve-se ao facto de Ostwald constatar que enquanto cada forma de energia conhecida pode transformar-se nas outras, o mesmo não se passa com a matéria. A transformabilidade universal da energia é contrastada com a muito restrita transformabilidade da matéria.<sup>80</sup>

---

<sup>76</sup> “An organism or an organization is all the more perfect and worthy the more efficiently “free energy” is transformed in ways useful to mankind. In this way everything on earth is subject to the energetical imperative, and Ostwald believed this to include the permiss that man tried to achieve his ends with a minimal wastage of energy (in the widest sense of the word), that is, by using the energy available to him in the most effective way possible” (Hakfoort 2006: 537).

<sup>77</sup> “ they are real because they are not human productions and are not dependent on human cognitive apparatus for their continued existence. Unlike force, matter and energy are not “mental constructions” which are placed in the world, but are “real existents” which are discovered there” (Deltete 2006: 18).

<sup>78</sup> “Briefly put, Ostwald’s contention was that matter and energy have the same ontological status, although he did not use that phrase to describe his claim. Rather, he said that each is “substantial” and “Objectively real”. Energy is a “substance”, he thought, because, like matter, it persists through all outward change and obeys a quantitative conservation law” (Deltete 2006: 17).

<sup>79</sup> “Ostwald would begin to question the ontology on which that prediction was based, but it was not until some years later that he finally took the even more daring step of “conceptually subordinating matter to energy” and declared that only the later was “genuinely ‘real’” (Deltete 2006: 18).

<sup>80</sup> “he observed that although matter and energy are comparable as real substances, subject to quantitative conservation laws, they nevertheless differ in important respects. Perhaps the most obvious of these, he thought,

Podemos dizer tal como Deltete que Ostwald inicialmente corrobora o ponto de vista de Mayer. A matéria e a força (energia) são reais. Porém, ele afasta-se de Mayer ao estabelecer uma dependência da matéria relativamente à energia. É neste ponto que podemos aproximá-lo de Helmholtz. Mas apenas em termos metodológicos, pois a matéria e a força (energia) são reais e não entidades abstractas como em Helmholtz. Estas afirmações serão justificadas após tratarmos Mayer e Helmholtz.

## I.2. Outros autores

Em 1909, **Ernst Mach** publicou a segunda edição da obra *História e raízes do princípio de conservação de energia*, aparecida pela primeira vez em 1872. A obra incluiu entre outros, do princípio de conservação de trabalho e a mecânica.

Segundo Mach, Carnot em 1824 estabeleceu o seguinte teorema: “toda a vez que um trabalho é realizado pelo calor, uma certa quantidade de calor é transferida de um corpo mais quente para um corpo mais frio. A realização do trabalho corresponde a uma transferência de calor. Inversamente, com a mesma quantidade de trabalho realizado se pode transferir de volta o calor do corpo mais frio para o mais quente”. Carnot considerava a quantidade de calor invariável (Mach 1911, p. 35-6)

Clausius teria descoberto que na realização de trabalho não apenas há um deslocamento de calor mas principalmente é perdida uma parte do calor sempre proporcional ao trabalho realizado.

Esse desaparecimento do calor com a realização de trabalho e formação de calor ao emprego de um trabalho mecânico foram confirmados pelas observações de Mayer,

---

was that while each of the known forms of energy could be transformed into any other, this was not the case for all the known forms of matter. (...) The “universal transformability” of energy thus stood in marked contrast with the “very restricted transformability” of matter” (Deltete 2006: 19).

Helmholtz e Thomson e pelas experiências de Joule, Rumford, e muitos outros. Donde se concluiu que se o calor pode ser transformado em trabalho mecânico é porque o calor é movimento. Quando Clausius relacionou o teorema de Carnot com as considerações de Mayer, Joule e outros, ele descobriu que é preciso dizer que desaparece uma quantidade de calor proporcional ao trabalho realizado.

Mach considera Mayer o fundador da teoria mecânica do calor (Mach 1911, p. 37). Nesta teoria, como o calor desaparece na medida em que realiza trabalho, ele não pode ser matéria, precisa ser movimento. Mach sustenta que o calor não pode ser uma substância pois ele não é uma quantidade inalterável. Poder-se-ia dizer, em analogia com outros termos da física, energia de calor em vez de quantidade de calor (Mach 1911, p. 47).

Helmholtz tentou generalizar a lei de conservação de força a toda a física e a partir de então são inumeráveis as aplicações dessa lei para a ampliação da ciência (Mach 1911, p. 38).

Em 1959, **Thomas Kuhn** escreveu o artigo “A Conservação da Energia como Exemplo de Descoberta Simultânea”. Segundo Kuhn há três factores que contribuíram para a simultaneidade: os processos de conversão; desenvolvimento e quantificação do conceito de trabalho mecânico ligado às máquinas a vapor; e a *Naturphilosophie*. Embora o autor tenha alguma reserva quanto a este último.

Neste artigo, Kuhn tem uma posição externalista na história das ciências, enfatizando a importância de factores de ordem externa na evolução da ciência. O autor mostra que:

a) contrariamente à historiografia tradicional da física que atribui a descoberta do princípio da conservação da energia a quatro cientistas europeus entre 1842 e 1847, Mayer, Joule, Colding e Helmholtz, a formulação deste princípio deveu-se à contribuição “independente” de doze cientistas europeus, que formularam, de diferente maneira, teses diferentes mas congruentes para a formulação da primeira lei da termodinâmica nas duas décadas anteriores a 1850;<sup>81</sup>

b) as teses formuladas dividiam-se em três grupos de acordo com três factores de relevo na contribuição para a formulação deste princípio: processos de conversão; desenvolvimento e quantificação ou matematização do conceito de trabalho mecânico ligado

---

<sup>81</sup> “A história da ciência não oferece nenhum exemplo mais marcante do fenómeno conhecido como descoberta simultânea. Já nomeámos doze homens que, num, curto período de tempo, apreenderam por si partes essenciais do conceito de energia e respectiva conservação. (...) A multiplicidade presente segrega suficientemente que, nas duas décadas anteriores a 1850, o clima do pensamento científico europeu incluía elementos capazes de conduzir cientistas receptivos a uma significativa nova visão da natureza” (Kuhn 2009: 98-9).



às máquinas a vapor e o princípio da *Naturphilosophie*. Segundo este princípio filosófico, existia a ideia de uma unidade profunda entre todos os fenómenos naturais, ou seja, a noção de que forças vitais tinham o mesmo estatuto que os outros tipos de força e que também eram conservadas na natureza.

O autor vai mostrar de que modo estes três factores, ou seja, de que modo os cientistas de diferentes maneiras, contribuíram para a formulação do princípio da conservação da energia. E mostra que, no século XIX, estas teses ainda eram apenas qualitativas no que concerne ao conceito da conservação da energia. Faltava o elemento quantitativo. Por outras palavras, apesar das tentativas de alguns cientistas no sentido da quantificação do conceito de trabalho mecânico, à excepção de Helmholtz, este aspecto ainda permanecia bastante qualitativo. Faltava a noção ou conceito de energia cinética associada ao trabalho mecânico.

Kuhn chama a atenção, primeiro que tudo, para a noção de descoberta simultânea. O caso ideal de descoberta simultânea supõe que dois ou mais cientistas tenham dito a mesma coisa na completa e recíproca ignorância dos outros. Kuhn diz que isto não aconteceu no caso da descoberta da conservação da energia, os cientistas disseram coisas diferentes. Como exemplo, é extremamente difícil, se não mesmo impossível, encontrar tais semelhanças na teoria dinâmica do calor de Mohr e na discussão de Liebig sobre os limites intrínsecos do motor eléctrico. Mas, o autor acrescenta que as violações da simultaneidade e da influência mútua são secundárias. O importante é constatar que no período de duas décadas anterior a 1850, o clima do pensamento científico europeu incluía elementos capazes de conduzir cientistas receptivos a uma significativa nova visão da natureza. Ou melhor, mais do que uma constatação de uma descoberta simultânea nos seus trabalhos, o que é mais importante é verificar a emergência rápida e, muitas vezes desordenada, de teses que em breve conduziriam à formulação deste princípio. E ainda que, “é mais do que *amour propre*” a reivindicação de Joule de que a sua descoberta anunciada em 1843 era diferente da de Mayer em 1842 (Kuhn 2009, p. 100).

O primeiro dos factores, a disponibilidade dos processos de conversão, está ligado a uma rede de conexões em Física desde o início do século XIX, que dimanou da invenção da pilha por Volta, em 1800. E o princípio subjacente era o de que havia um processo de conversão, de convertibilidade, entre os fenómenos. Diz Kuhn, de acordo com teoria prevalecente do galvanismo, a corrente eléctrica obtinha-se de forças com afinidade química. A corrente eléctrica invariavelmente produzia calor e também luz, em condições apropriadas.

Segundo Kuhn, Oersted demonstrou em 1820 os efeitos magnéticos da corrente. O magnetismo podia produzir movimento e o movimento produzia electricidade através da fricção como já era conhecido desde há muito tempo (Kuhn 2009, p. 103)

O autor diz que, embora alguns dos processos de conversão já tivessem disponíveis antes de 1800, como por exemplo o facto de o movimento produzir cargas electrostáticas e as atracções e repulsões resultantes produzirem movimento, estes fenómenos encontravam-se ainda isolados no século XVIII. Só na década depois de 1830, é que pouco a pouco, conjuntamente com outras descobertas realizadas pelos cientistas do século XIX, estes fenómenos começaram a parecer-se com processos de conversão (Kuhn 2009, p. 104). E mais importante ainda é que problemas anteriormente separados e isolados em laboratório sob a forma de fenómenos químicos, térmicos, eléctricos, entre outros, começaram a ganhar múltiplas inter-relações, um “elo de ligação”, constituindo uma “nova visão” ou “nova conexão” entre as ciências à maneira de Mary Sommerville in *On the Connexion of the Physical Sciences* de 1834 (Kuhn 2009, p. 104). Ou seja, começaram a estabelecer-se laços que uniam abordagens e enunciações diferentes em torno de uma descoberta única, constituindo um importante requisito para a emergência da conservação da energia (Kuhn 1989, p. 104). Por outras palavras, com esta “nova ideia” de processos de conversão, as concepções iniciais e isoladas dos cientistas acabaram por se parecer com a conservação da energia. Kuhn acrescenta que a conservação da energia não é mais que a contrapartida teórica dos processos de conversão laboratoriais descobertos durante as primeiras quatro décadas do século XIX (Kuhn 2009, p. 105). Porém, ainda que existisse esta conexão entre as diferentes teses que os cientistas formularam de diferente maneira, como por exemplo a tese de Faraday e o conceito de convertibilidade de Grove, ainda não é o mesmo que a noção de conservação da energia. Dizia Faraday em 1834: “Não podemos dizer se alguma destas forças” (...) electricidade, calor, magnetismo, entre outras, “é a causa das outras, mas apenas que todas estão conexas e se devem a uma causa comum” (Kuhn 2009, p. 108). E, diz Kuhn, Grove em 1843 incluía, no conceito da convertibilidade universal, uma observação quase idêntica à de Faraday de que cada um dos agentes imponderáveis como a luz, o calor, a electricidade, etc, “podem, enquanto força, produzir ou converter-se nas outras; assim, o calor pode mediata ou imediatamente produzir electricidade, a electricidade pode produzir calor; e o mesmo se passa com o resto” (Kuhn 2009, p. 108). Trata-se ainda de uma noção qualitativa de conservação, assente na ideia de movimentos cíclicos e na da impossibilidade do movimento perpétuo.

Faltava o elemento quantitativo, o conceito de energia cinética associado ao conceito de trabalho mecânico.

Segundo Kuhn, esta noção qualitativa é visível na tentativa de quantificação do conceito de conservação por alguns cientistas, que para tal recorreram ao conceito de trabalho mecânico ligado aos motores, às máquinas a vapor da prática da engenharia. Este conceito de trabalho mecânico foi reintroduzido por Joule em 1843, estabelecendo assim o elo com a engenharia das máquinas a vapor e que viria a ser utilizado na análise dos fenómenos envolvidos nestas máquinas. A ideia é a de que existe uma unidade e convertibilidade, entre os fenómenos. Diz Kuhn, há uma transferência dos conceitos de engenharia para os problemas mais abstractos da conservação da energia. Este princípio unificador, a *vis viva*, é igual a  $mv^2$ , o produto da massa pelo quadrado da velocidade. Porém, diz Kuhn, esta quantidade, até uma data tardia, não aparece nos trabalhos dos cientistas à excepção de Carnot, Mayer e Helmholtz (Kuhn 2009, p. 113). Os cientistas usaram uma quantidade conhecida por efeito mecânico, poder mecânico e trabalho como  $f \cdot s$ , em que  $f$  é a força e  $s$  a distância. Mas, faltava a noção de energia cinética, a igualdade entre o trabalho realizado e a energia cinética criada. E continua Kuhn, tal é visível no significado mais geral da dinâmica da conservação da *vis viva*, em que o deslocamento vertical, melhor do que a força, vezes o tempo, aparece no teorema da conservação (Kuhn 2009, p. 114). Bernoulli dizia em 1738: “a conservação da *vis viva* é «a igualdade da descida real com a ascensão potencial»” (Kuhn 2009, p. 114). Mas, as formulações mais gerais inauguradas por D’Alembert em 1743, suprimem este deslocamento vertical que poderia considerar-se como uma concepção embrionária de trabalho (Kuhn 2009, p. 114). Assim, para que a noção de trabalho fosse a do conceito de conservação da energia, a quantificação dos processos de conversão, era necessário uma redefinição da *vis viva*, ou seja, a substituição de  $mv^2$  por  $\frac{1}{2}mv^2$ .

Assim, vê-se como os cientistas chegaram de diferentes maneiras e por “saltos mentais” e, na maioria dos casos, de uma forma incompleta ao conceito de trabalho da mecânica clássica e da conservação da energia. Porém, tal não é dispiciante, uma vez que na própria *Mechanica* de Euler, na *Mécanique analytique* de Lagrange e na *Mécanique céleste* de Laplace, o conceito de trabalho mecânico também não aparece. “Nestes trabalhos, a integral da força vezes o elemento do trajecto diferencial só ocorre na derivação da lei da conservação. A própria lei equipara a *vis viva* com uma função das coordenadas da posição” (Kuhn 2009, p. 115). Mas, continua Kuhn, é interessante constatar que estes “saltos mentais” sugerem que

muitos destes cientistas estavam profundamente predispostos a ver uma única força indestrutível na raiz de todos os fenómenos naturais. E, esta predisposição era como que um resíduo de uma metafísica semelhante gerada pela controvérsia do século XVIII em torno da conservação da *vis viva*, o princípio da *Naturphilosophie*, em que existe um princípio unificador único para todos os fenómenos naturais. Segundo este princípio, existem forças que têm o mesmo estatuto que outras forças na natureza e que também são conservadas na natureza.

Deste modo, para Kuhn, a *Naturphilosophie* poderia ter fornecido um fundamento filosófico apropriado para a descoberta da conservação da energia.

Esta tese pode ser refutada tendo em conta os seguintes argumentos:

a) Nem todos os cientistas sustentavam a ideia de processos de conversão dos fenómenos. Os cientistas do final do século XVIII e início do século XIX sustentavam na maioria a teoria do calor substância. Por esta razão, a conversão do calor ou calórico em movimento era impossível. Na lista dos descobridores da energia de Kuhn, alguns autores sustentavam o calor-substância.

Também no século XVIII e inícios do século XIX, os cientistas sustentavam uma conexão entre os fenómenos e não uma conversão. Oersted descobriu uma conexão entre a electricidade e o magnetismo mas não uma conversão entre os fenómenos.<sup>82</sup> O termo convertível tem implicações teóricas porque para que a electricidade se converta em magnetismo é necessário que o magnetismo seja electricidade, se usarmos a ideia jouleana de conversão de calor em movimento, pela qual o calor seria movimento.

William Grove (1811-1896) era adepto da posição positivista, tendo criticado o princípio de causalidade, de uma causa que antecede o efeito.<sup>83</sup> Ele sustentava a ideia de uma conexão entre os fenómenos. Ele salientou um absurdo implícito nas teorias não positivistas da causalidade do seguinte modo. Para os não positivistas, Oersted mostrou que o magnetismo podia ser produzido pela electricidade e Faraday demonstrou que a electricidade podia ser

---

<sup>82</sup> “M. Oersted, Professor of Natural Philosophy at Copenhagen, discovered that a current of voltaic electricity exerts a powerful influence on a magnetised needle. This observation had given rise to the theory of electro-magnetism (...) The science of electro-magnetism, which must render the name of M. Oersted ever memorable, relates to the reciprocal action of electrical and magnetic currents” (Somerville 2005: 346-52).

<sup>83</sup> “From this positivist position Grove criticised the concept of cause. He rejected the view, (...), that cause is an event which invariably precedes an effect” (Cantor 1975: 276).

produzida pelo magnetismo. Assim, a electricidade podia causar electricidade o que era um absurdo.<sup>84</sup> A causa podia ser causa dela mesma.

Heimann em 1974 embora sustente a ideia de conversão dos fenómenos, critica Kuhn dizendo que os processos de conversão não eram específicos do período entre 1830 e 1850 e já existiam anteriormente.<sup>85</sup>

b) Os cientistas da descoberta da energia não sustentavam na generalidade a tese da conversão do calor em movimento.

No artigo de 42, Mayer preferia admitir uma transformação do movimento em calor do que uma causa sem efeito ou um efeito sem causa. As máquinas a vapor seriam um exemplo da transformação inversa, do calor em movimento.<sup>86</sup>

Thomson não acreditava na convertibilidade do calor em trabalho defendida por Joule. O autor diz que a conversão do calor ou calórico em trabalho parece impossível não havendo nenhuma experiência que o mostre.<sup>87</sup> A produção de efeito mecânico ou trabalho pelo calor nas máquinas a vapor era uma “transmissão” de calor e não uma conversão.<sup>88</sup>

Apenas em 1851, Thomson aderiu à teoria dinâmica do calor, à convertibilidade mútua de calor em trabalho.

---

<sup>84</sup> “Oersted’s experiment had shown that magnetism could be produced from electricity, while more recently Faraday had demonstrated that electricity itself could be produced by magnetism. The paradox arose if one of these was considered the cause, and the other the effect, for then “if electricity cause magnetism, and magnetism cause electricity, why then electricity causes electricity, which is absurd”” (Cantor 1975: 277).

<sup>85</sup> “In Kuhn’s view, conversion phenomena were only of significance in the decade after 1830 and thus are regarded as trigger-factors. The evidence presented in the present paper indicates that belief in the interconversion of forces was of significance, at least in Britain (...) much earlier than Kuhn would allow. The discovery of the new conversion processes is surely relevant to an understanding of the development of the concept of energy conservation, but the concern with conversion phenomena does not have the specificity to the period 1830 to 1850 which Kuhn claimed for it” (Heimann 1974: 158).

<sup>86</sup> “umgekehrt dienen wieder die Dampfmaschinen zur Zerlegung der Wärme in Bewegung oder Lasterhebung. Die Locomotive mit ihrem Convoi ist einem Destillirapparate zu vergleichen; die unter dem Kessel angebrachte Wärme geht in Bewegung über” (Mayer 1842: p 239).

<sup>87</sup> “the conversion of heat (or caloric) into mechanical effect is probably impossible”. Na nota de rodapé lê-se: “This opinion seems to be nearly universally held by those who have written on the subject. A contrary opinion however has been advocated by Mr. Joule of Manchester; some very remarkable discoveries which he has made with reference to the generation of heat by (...) seeming to indicate an actual conversion of mechanical effect into caloric. No experiment however is adduced in which the converse operation is exhibited” (Thomson 1848: 315).

<sup>88</sup> “In actual engines for obtaining mechanical effect through the agency of heat, we must consequently look for the source of power, not in any absorption and conversion, but merely in a transmission of heat” (Thomson 1848: 315).

Bevilacqua em 1993 defende que a ineficácia da velha tradição da engenharia de Lazare Carnot referida por Kuhn é injustificada. Kuhn negligenciou a tradição da teoria potencial que identificava o conceito de trabalho com o de potencial, abrindo a via para a expressão matemática da conservação da energia. Assim, se o conceito de trabalho é encarado como Kuhn o faz, ele pode ser derivado de figuras desde Hero de Alexandria até Leibniz mais do que da tradição da engenharia do século XVIII, tornando-o mais um requisito do que um “trigger factor” (Bevilacqua 1993, p. 293).

c) Nem todos, como por exemplo Mayer, partilhavam do princípio filosófico da *Naturphilosophie*, a ideia de uma força originária em todos os fenómenos.

Apesar de se atribuir a Mayer uma influência da *Naturphilosophie* para explicar a descoberta da conservação da energia, a análise dos textos de Mayer contradizem esta influência. No livro de 45, ele diz que nada surge do nada, ou não há criação ou destruição, apenas transformação e que a causa é igual ao efeito. A transformação é entendida como uma equivalência entre a causa e o efeito que é diverso e nada se pode dizer sobre a essência, fazendo supor que a causa é diversa. A causa ser igual ao efeito é entendido como uma equivalência. A criação é entendida como transformação. É este sentido de criação como transformação que contradiz a tese de uma influência da *Naturphilosophie* em Mayer. Não há uma causa comum originária na raiz dos fenómenos pois nada se pode dizer acerca da essência das coisas e Mayer coloca-se no plano dos factos dizendo que o diverso, os fenómenos, provêm da transformação.

Enquanto Kuhn se refere à *Naturphilosophie*, os filósofos naturais como Schelling ou Goethe não são referidos pelos descobridores, há outros que o foram como por exemplo, Leibniz e a *vis viva*, que iremos considerar de seguida.

**Carolyn Iltis** em 1971 escreveu o artigo “Leibniz and the *vis viva* Controversy”.

Segundo a autora, Leibniz em 1686 iniciou uma disputa em torno da força de um corpo em movimento conhecida como controvérsia da *vis viva* (Iltis 1971, p. 21).

Dois conceitos agora designados por *momentum* ( $mv$ ) e energia cinética ( $\frac{1}{2}mv^2$ ) eram discutidos como um único conceito, força, diferindo cada um deles do conceito de força newtoniano.

Para Descartes, a quantidade de movimento,  $mv$ , era conservada no universo pois Deus, a causa geral do movimento no universo, preserva a mesma quantidade de movimento desde a criação (Iltis 1971, p. 21).

A questão é que para Descartes a velocidade é sempre tratada como uma quantidade positiva,  $|v|$ , enquanto Leibniz objecta, a quantidade que permanece absoluta e indestrutível na natureza não é a quantidade de movimento,  $m|v|$ , mas a *vis viva* ou força viva,  $mv^2$ .

Em 1668, John Wallis, Christopher Wren e Christiaan Huygens, mostraram que a quantidade conservada nas colisões unidimensionais não era  $m|v|$  mas  $mv$ , onde o sinal da velocidade era tomado em consideração. Mas, os argumentos de Leibniz contra Descartes começaram em 1686 para mostrar a superioridade de  $mv^2$  sobre  $m|v|$  e não sobre  $mv$  (Iltis 1971, p. 22).

Leibniz distingue força motriz, *motricis potentiae*, e quantidade de movimento,  $m|v|$ , *quantitas motus*. Leibniz como muitos outros, não distingue peso de massa. A força motriz, *mgs* ou *ws*, peso vezes altura, é equivalente a  $\frac{1}{2}mv^2$ , que Leibniz designa de *vis viva* ou força viva. A força motriz de Leibniz é uma forma rudimentar do nosso conceito de energia potencial (Iltis 1971, p. 23).

O argumento de Leibniz baseia-se em duas considerações:

- 1) Um corpo em queda duma certa altura adquire a mesma força necessária para levá-lo à sua altura inicial se a sua direcção for em sentido contrário e se nenhuma força externa interferir nele. A força motriz é assim o produto do peso do corpo pela altura da queda.
- 2) A mesma força é necessária para levantar um corpo A de 1 libra para uma altura de 4 cm e um corpo B de 4 libras à altura de 1 cm. Em termos modernos, o trabalho realizado nos corpos A e B é igual. Leibniz infere que o corpo A de 1 libra caindo de uma altura de 4 cm adquire a mesma força que o corpo B de 4 libras caindo de uma altura de 1 cm (Iltis 1971, pp. 23-4).

Por outro lado, Leibniz diz que as quantidades de movimento desses corpos não são iguais. Como mostrou Galileu, o corpo A na sua queda adquire duas vezes a velocidade do corpo B, 2gs. O corpo A de 1 libra caindo de uma altura de 4 cm atingirá D com uma velocidade 2. A sua quantidade de movimento  $mv$  é 2. O corpo B de 4 libras caindo de uma altura de 1 cm atingirá F com a velocidade 1 e  $mv$  é 4. Segundo Iltis, assim, as quantidades de movimento são diferentes mas as forças motrizes, *mgs*, são iguais (Iltis 1971, pp. 24-5).

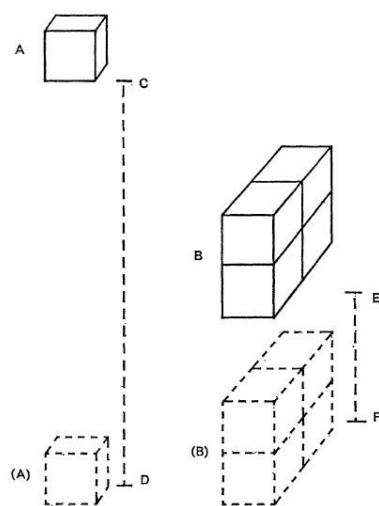


FIGURE 1. *From Acta Eruditorum, March 1686, Table VI.*

Fig 10

Leibniz diz que Descartes mais precisamente os seus seguidores, cometem um erro pois a quantidade de movimento mais tarde conhecida por *momentum* não é o mesmo que quantidade formada pelo produto da massa pela velocidade virtual como aplicada em situações estáticas (Iltis 1971, pp. 25-6). Segundo Iltis, Descartes confunde quantidade de movimento com força motriz. A quantidade de movimento não se conserva enquanto a força motriz conserva-se (Iltis 1971, p. 26).

Leibniz explica no *Discurso de Metafísica* que Deus conserva sempre a mesma força, mas não a mesma quantidade de movimento, contra os cartesianos e vários outros (Leibniz 2008, pp. 50-54).

Seguidamente, vamos prosseguir com a panorâmica histórica.

**Yehuda Elkana** em 1974 publicou a obra *The Discovery of the Conservation of Energy*.

Elkana escreve uma história sobre a energia ou conservação da energia enfatizando a intervenção de Helmholtz na descoberta deste princípio. Ele atribui a Helmholtz a descoberta da conservação da energia em termos matemáticos.



Elkana mostra uma conexão entre passagens da introdução do artigo de 1847 de Helmholtz e a *Crítica da Razão Pura*, defendendo uma influência kantiana em Helmholtz (Elkana 1974, pp. 166-7).

Ele defende que para Helmholtz, todos os fenómenos da natureza são reduzidos a duas forças imutáveis, as forças atractivas e repulsivas. Só temos conhecimento dos fenómenos através das suas forças, sendo estas forças atractivas e repulsivas. E o papel da ciência teórica consiste na procura destas forças últimas segundo o princípio da causalidade, condição da completa inteligibilidade da natureza (Elkana 1974, p. 169).

Elkana nega uma influência da *Naturphilosophie* em Helmholtz, realçando em contrapartida a influência kantiana no pensamento de Helmholtz.

**Crosbie Smith** em 1998 publicou a obra *The Science of Energy*. A obra divide-se em 14 capítulos entre os quais há a salientar uma história da energia; a ciência da Termodinâmica; a filosofia natural de James Clerk Maxwell.

Smith escreve uma história da energia, defendendo que foi Rankine em 1859 que introduziu o termo termodinâmica na linguagem científica, adaptado da frase de Thomson “máquina termo-dinâmica”. Todo o conhecimento sistemático da mútua relação calor e poder mecânico era deduzido de duas leis. A lei da convertibilidade mútua do calor e poder mecânico envolvendo o equivalente mecânico do calor de Joule, e a lei da eficiência das máquinas termo-dinâmicas.

Thomson na sua “Teoria dinâmica do calor”, tinha creditado Clausius com o mérito de primeiro estabelecer a proposição sob princípios correctos. Mas, Thomson foi mais longe. Ele proclamou que a demonstração de Clausius era fundada no axioma que “é impossível para uma máquina converter calor de um corpo para outro a uma temperatura mais elevada”. Thomson defendia uma componente teológica no conhecimento da natureza, enfatizando a contingência de todas as energias da natureza sob a vontade de Deus.

Os axiomas de Thomson e Clausius eram diferentes na forma, embora um fosse a consequência do outro. O artigo de Clausius de 1850 tinha mostrado que o teorema de Carnot podia reconciliar-se com a convertibilidade do calor e trabalho de Joule: de acordo com Carnot, o calor era transferido de um corpo mais quente para um corpo mais frio; enquanto de acordo com Joule, uma parte era convertida em trabalho. Mas, o estilo científico de Clausius, caracterizado por uma consistência lógica diferia radicalmente das perspectivas dos engenheiros do norte da Inglaterra, o que era fonte de controvérsias. Assim, Clausius em 1854

admitiu que a sua expressão original do “teorema de Carnot” ou “segundo teorema fundamental na teoria mecânica do calor” estava incompleta, porque não conseguimos reconhecer com clareza o valor real do teorema e as suas conexões com o primeiro teorema fundamental. Assim Clausius tentou ultrapassar este defeito oferecendo fundamentos mais gerais e concisos para a teoria mecânica do calor em termos de dois teoremas. O da “equivalência do calor e trabalho” e o da “equivalência de transformações”. Em contraste com o artigo de 1850 em que o “calor passa de um corpo mais quente para um corpo mais frio”, Clausius estabeleceu um princípio fundamental: “o calor nunca pode passar de um corpo mais frio para um corpo mais quente sem qualquer outra mudança, conectada e ocorrendo ao mesmo tempo (Smith 1998, pp. 166-7).

O segundo teorema era agora expresso como uma relação entre dois tipos de transformações, a transformação do calor em trabalho, e a passagem do calor de um corpo mais quente para um corpo mais frio, que podia ser visto como a transformação de calor a uma mais alta temperatura para calor a uma mais baixa temperatura (Smith 1998, p.167).

Vamos passar a um outro tópico da história da energia, tratado por Smith, também concernente com a relação britânico-germânica nessa história. Trata-se da controvérsia Tait-Thyndall sobre a atribuição do mérito da descoberta da energia a Mayer ou a Joule.

Thyndall entendia a nova doutrina da conservação da energia, tal como Huxley estava a fazer com a evolução Darwiniana, ao serviço do naturalismo científico. Os britânicos do norte atribuíam o mérito a Joule enquanto Thyndall o atribuía a Mayer.

Segundo Smith, Thyndall criava uma imagem de Mayer como um génio romântico, trabalhando sozinho, ignorado pela sociedade e capaz dos mais profundos insights imaginativos em tópicos físicos e com a vantagem de uma vida devotada à prática da física (Smith 1998, p. 181). Joule ao tomar conhecimento desta prioridade de Mayer por Thyndall, escreveu a Thomson acusando Thyndall de ameaçar a Royal Institution. Joule publicamente acusou o facto de colocarem Mayer no contexto de uma longa história da teoria dinâmica do calor iniciada por John Locke no século XVII. Joule insistia em evocar que Séguin e Mayer usaram a mesma hipótese, de que o calor envolvido na compressão era o equivalente da força compressora, para argumentar contra a teoria do calórico. E Joule sustentava que no tempo em que Séguin e Mayer escreveram não havia factos experimentais que garantissem a hipótese que eles adoptaram. Eles não tinham estabelecido a teoria dinâmica do calor: para tal, dizia Joule, era necessário experiência, e foi Joule tal como é a posição dos seus colegas

físicos a ser o primeiro a dar uma prova decisiva e correcta desta teoria. Respondendo a Joule, Thyndall diz que não está em questão o facto de ter sido Joule que demonstrou experimentalmente o equivalente mecânico do calor, mas ele defende que foi Mayer quem elaborou a hipótese à qual Joule e Thomson eram cépticos (Smith 1998, pp. 181-2).

Thomson e Tait ensinavam aos alunos a doutrina da energia de acordo com os princípios da filosofia natural. Por outro lado, Thyndall defendia o estudo da conservação da energia de acordo com o naturalismo científico. A energia defendida por Thomson e Tait tinha uma dimensão teológica em que também colocavam a criação como possível origem da energia. A energia potencial gravitacional era a forma original de todas as energias no universo. Assim, todas as energias tendem ultimamente a tornar-se calor, o qual não pode ser transformado em outras modificações sem um novo acto criador (Smith 1998, p. 184).

Thomson e Tait mantinham a sua autoridade na física em Inglaterra. Mas contra a nova geração de físicos, teóricos, experimentalistas e químico-físicos, Thomson começou particularmente a ser olhado como extremamente conservador, um sobrevivente de uma era passada da filosofia natural (Smith 1998, p. 289).

Em contraste, as novas gerações começavam a defender as doutrinas da energia segundo os seus próprios propósitos. Um grupo britânico de “Maxwellianos”, incluindo FitzGerald (1851-1901), Oliver Heaviside (1850-1925) e Oliver Lodge (1851-1940) reinterpretabam o tratado do electromagnetismo de Maxwell para seus próprios fins e de acordo com princípios de energia. Mas para eles, Maxwell era só meio Maxwelliano tal como Heaviside referiu em 1895 após ele e seus associados terem procedido a uma transformação na perspectiva original de Maxwell. Mais tarde, os Maxwellianos localizaram a energia num campo à volta de um condutor eléctrico, tentando levar o modelo mecânico até ao extremo. Era fundamentalmente este elo entre energia e matéria que fazia que a energia fosse ultimamente olhada como energia mecânica medida em termos de trabalho realizado e que caracterizava os cientistas da energia. Por outro lado, Thomson tratava as novas visões electromagnéticas com bastante reserva dizendo que se tratava de puro niilismo, não tendo lugar na filosofia natural.

Porém, estas discordâncias pareciam relativamente moderadas até surgir a denominada escola “Energeticista” na Alemanha que marcava uma viragem mais radical na “ciência da energia”. O Energeticismo liderado pelo físico-químico Wilhelm Ostwald (1853-1922) rejeitava teorias atomistas e outras teorias de matéria a favor de um universo de energia que se

estendia da física à sociedade. Thomson reagiu prontamente a esta nova visão da energia numa carta a Joseph Larmor em 1906 dizendo que “os novos físicos que têm tido um trabalho científico nos últimos quinze ou vinte anos parecem ter esquecido que a energia não é uma existência absoluta (...) e acrescenta que “não sabe se Ostwald conhece que a energia é a capacidade de realizar trabalho...” (Smith 1998, p. 289).

Thomson e Tait criticavam os filósofos naturais como Mayer e Thyndall que usavam uma linguagem ambígua de “força” em vez de uma linguagem precisa de energia. Segundo os autores, Joule tinha publicado em 1843 os resultados de uma série de experiências que estabeleceu a transformação do calor em trabalho e a determinação com grande precisão do equivalente dinâmico do calor. Em contraste, Mayer tinha apresentado resultados obtidos por métodos naturalistas, os quais sugeriam novas experiências e um novo método para a determinação do equivalente dinâmico do calor.

Contrariamente a Thomson e Tait que descuravam a hipótese de Mayer, Thyndall lembrou a Thomson que “a aproximação é tão próxima que levou a Joule seis anos de trabalho até 1849 de acordo com os seus próprios métodos, para alcançar o grau de certeza atingido pelo método de Mayer” (Smith 1998, pp. 189-90).

Colocando em causa a competência em física experimental de Mayer, encarando-o mais como um médico do que um físico e argumentando que a sua hipótese assentava em princípios metafísicos, Tait não apenas reconheceu o mérito e prioridade a Joule como toda a base da ciência da energia dos britânicos do norte contra o naturalismo científico. Por outro lado, Thyndall proclamou Mayer como o génio negligenciado, cujos insights em trabalhos da natureza transcenderam e anteciparam as conclusões dos outros homens da ciência.

Crosbie Smith no artigo “Force, energy, and thermodynamics” de 2003, centra a origem da energia na Inglaterra no século XIX. Contrariamente a Kuhn que defende que os elementos da conservação da energia devem ser procurados na natureza, Smith propõe uma visão contextualista analisando o conceito de energia no contexto específico da Inglaterra, em que um grupo de filósofos britânicos promoveram a nova ciência da energia.<sup>89</sup>

A formação da *British Association for the Advancement of Science* (BAAS) em 1830 foi uma importante tentativa dos cientistas britânicos para reformarem a organização e prática

---

<sup>89</sup> “Challenging (...) Kuhn’s assumption that the elements of energy conservation were there to be *discovered in nature*, I employ a contextualist methodology whereby scientific practitioners construct concepts, such as “energy”, within specific local contexts and in relation to particular audiences. (...) by focusing on an interacting and self-conscious group of Scottish natural philosophers who promoted a new “science of energy””(Smith 2003: 290).

da produção do conhecimento natural durante um período caracterizado por mudanças na indústria e instabilidade social.

Salientam-se dois movimentos reformadores:

1) a primeira geração de reformadores da *BAAS* admiravam a física matemática francesa da *Mecânica celeste* de Laplace. Porém, eles vinham ficando progressivamente insatisfeitos com as doutrinas de Laplace, as quais assumiam a acção entre pontos atômicos num espaço vazio como explicação para todos os fenómenos naturais;

2) uma segunda geração de reformadores mais jovens e radicais, associados ao *Cambridge Mathematical Journal*, apaixonavam-se pelas equações macroscópicas e não hipotéticas de Fourier em oposição à física microscópica e hipotética de acção à distância de Laplace e seus discípulos como Poisson.

Por volta de 1840, o jovem William Thomson, mais tarde Lorde Kelvin, tornou-se adepto da causa Fourier iniciando uma oposição às doutrinas de Laplace. Num curto espaço de tempo, Thomson encontraria uma causa comum relativamente a Michael Faraday (1791-1867), cujas próprias doutrinas eléctricas também contrastavam com as da acção à distância de Laplace.

Em 1840, Thomson e o seu irmão mais velho James, iniciaram uma investigação em engenharia. Thomson pretendia testar através de princípios de engenharia, a teoria material do calor ou calórico, com base na teoria de Carnot-Clapeyron do calor substância.

Thomson não acreditava na convertibilidade do calor em trabalho defendida por Joule. O autor diz que a conversão do calor ou calórico em trabalho parece impossível não havendo nenhuma experiência que o mostre. A produção de efeito mecânico ou trabalho pelo calor nas máquinas a vapor era uma “transmissão” de calor e não uma conversão.<sup>90</sup>

Tal como já anteriormente referido no capítulo I, em 1850, o físico teórico alemão Rudolf Clausius produziu a primeira conciliação entre a teoria de Carnot e a de Joule. Em 1850, Thomson e Macquire Rankine começaram a avaliar a tese de Clausius acerca da reconciliação entre Carnot e Joule. Em 1851, Thomson aderiu à “nova” teoria dinâmica do calor, ou seja, a equivalência mútua do calor e trabalho de Joule e estabeleceu a ideia de um motor perfeito no critério de Carnot.

---

<sup>90</sup> “In actual engines for obtaining mechanical effect through the agency of heat, we must consequently look for the source of power, not in any absorption and conversion, but merely in a transmission of heat” (Thomson 1848: 315).

Porém, a sua aceitação tardia da tese de Joule prendeu-se com a resolução do problema da irrecuperabilidade do efeito mecânico “perdido” sob a forma de calor. Mas, Thomson encontrou em Deus a justificação para tal: “Deus por si podia criar ou destruir energia (i. é., a energia foi conservada na quantidade total), mas os seres humanos podiam fazer uso das transformações da energia”.<sup>91</sup> Por outras palavras, só o “poder criativo ou divino” pode aniquilar energia mecânica. A energia conserva-se, não se “perde”, mas os humanos podem fazer uso das transformações da energia. Há portanto, uma transformação da energia. Esta transformação é dissipativa. Para a explicar, Thomson introduz uma divisão entre energia estática e dinâmica.

**Eugene Hecht** em 2003 escreveu o artigo “An Historico-Critical Account of Potential Energy: Is PE Really Real?”. Este é um exemplo da história da energia no contexto da física.

Hecht colocou a questão: o que é a energia potencial? Será ela real tal como a energia cinética? A energia cinética ou energia do movimento é em física um conceito real porque associada a uma grandeza mesurável, o movimento.

Como sabemos, há uma distinção na literatura entre energia actual ou energia do movimento, energia cinética, e energia do repouso ou energia potencial. A energia potencial é definida como a possibilidade de se tornar energia cinética.

Com a equivalência entre massa e energia de Einstein de 1905<sup>92</sup> há uma modificação nestes conceitos, mas este não é um assunto a ser tratado na presente dissertação.

Segundo Hecht, o conceito moderno de energia potencial desenvolveu-se a partir da ideia de *momentum*. Jean Buridan (1295-1358) na sua teoria de *ímpetus* introduziu a noção de que a medida verdadeira do movimento de um objecto não era apenas a velocidade mas o produto da velocidade pela quantidade de matéria, *quantitas materiae*.<sup>93</sup> Posteriormente este conceito de quantidade de matéria foi substituído pelo de massa. Johannes Kepler (1618) introduziu o conceito de massa inercial mas ainda existia uma confusão entre peso, *quantitas*

---

<sup>91</sup> “God alone could create or destroy energy (i.e., energy was conserved in total quantity), but human beings could make use of transformations of energy, for example, in waterwheels or heat engines” (Smith 2003: 299).

<sup>92</sup> Einstein usa a expressão “equivalência de massa e energia” pela primeira vez em 1907 (Einstein 1989: 428).

<sup>93</sup> “Jean Buridan (c1295-c1358), in his impetus theory, introduced the prescient notion that the true measure of the motion of an object was not speed alone, but the product of speed and quantity of matter (*quantitas materiae*)” (Hecht 2003: 486).

*materiae* e massa. Após Jean Richer ter descoberto que o peso variava com a localização no planeta (1671), Newton explicou e distinguiu peso e massa.<sup>94</sup>

A ideia de Buridan foi aceita embora modificada por Galileu que a designou por momento e Descartes que falou em quantidade de movimento. Mas era a lei da conservação do momento que era vigente, a quantidade de movimento, *momentum* total, do universo permanece inalterável. A ideia da conservação divina de uma quantidade dinâmica embora baseada na imutabilidade da matéria estática.<sup>95</sup>

Newton nos *Principia* (1687) definiu o *momentum* como o produto da massa pela velocidade. Newton refere-se ao produto da massa pela velocidade quer como quantidade de movimento quer como *momentum*.<sup>96</sup>

Christian Huygens introduziu o produto da massa pelo quadrado da velocidade,  $mv^2$ . Formulou a lei da conservação do momento da colisão elástica.

Gottfried Leibniz (1646-1716) baseou-se na ideia de Huygens e mostrou que para um corpo em queda,  $mv^2$  era proporcional ao produto do peso pela altura de Galileu. Designou  $mv^2$  pela *vis viva* para distingui-la da *vis mortua* ou força estática do equilíbrio.<sup>97</sup>

Foi Thomson em 1851 que introduziu o termo energia na temática calor e movimento. Gustave Coriolis (1829) usou  $\frac{1}{2}mv^2$ , grandeza hodierna de energia cinética.

No final do século XIX, muitos cientistas substituíram a *vis viva* por energia cinética, um termo introduzido em 1862 por Thomson e Tait.<sup>98</sup>

Lazare Carnot, pai de Sadi Carnot, em 1783 e 1803 distinguiu entre força viva,  $mv^2$ , e o produto do peso pela altura que designou por força viva latente.<sup>99</sup>

---

<sup>94</sup> “After Jean Richer inadvertently discovered (1671) that weight varied with location on the planet, Newton explain that observation, insightfully distinguishing between weight and unvarying mass” (Hecht 2003: 486).

<sup>95</sup> “(...) the total momentum (i.e., quantity of motion) of the universe persists unchanged and will continue to be preserved forever. That job of speculative nonphysics would blossom into the all-important law of conservation of momentum and capture the scientific imagination of the age. The very idea of the divine conservation of a dynamical quantity, though it had its roots in the immutability of static matter, transcended the ordinary realm of scientific discourse” (Hecht 2003: 487).

<sup>96</sup> “(...) Newton refers to mass x velocity on one page as *quantity of motion* and another as *momentum*” (Hecht 2003: 487).

<sup>97</sup> “Gottfried Leibniz (1646-1716) picked up on Huygens`idea and showed (1686) that, for a falling body,  $mv^2$  was proportional to Galileo`s product of weight and height. Writing in Latin, he called  $mv^2$  the *vis viva* or “living force” to distinguish it from the *vis mortua*, the “dead” or static force of equilibrium” (Hecht 2003: 487).

<sup>98</sup> “Em 1862 Thomson e Tait publicam um artigo intitulado *Energia* na revista *Good Words*. (...) Apesar de divulgatório, o artigo introduziu uma novidade, a expressão “energia cinética”” (Coelho 2006: 88).

Robert Mayer (1842) e Hermann von Helmholtz (1847) formularam o princípio da conservação da energia. Helmholtz posteriormente adoptou o termo de William Rankine de energia potencial e estabelece uma proporcionalidade entre energia potencial e energia actual.<sup>100</sup> Rankine introduziu a distinção entre energia potencial e actual em 1853.

**Guedj Muriel** em 2006 publicou o artigo “Du Concept de Travail vers celui D’Energy: L’Apport de Thomson”.

Muriel defende que na evolução do conceito de energia, a transição do conceito de trabalho para o de energia tem sido descurada pelos historiadores da ciência. E que a transição do conceito de trabalho para o de energia deve ter em conta o efeito mecânico, um conceito intermediário central na teoria de Thomson.<sup>101</sup> Para Thomson, o calor não é uma substância mas corresponde a um estado de movimento.<sup>102</sup>

Um dos avanços importantes de Thomson relativamente aos resultados de Carnot, à conservação do calor, reside na formalização analítica dos princípios fundamentais, na consideração da existência de um efeito mecânico do calor. O calor é considerado uma forma de trabalho. E é neste contexto que Thomson utiliza pela primeira vez a expressão energia mecânica. Thomson não concebe nenhuma energia fora do contexto da mecânica (Muriel 2006, p. 39).

Porém, a autora sustenta que a energia introduzida na teoria dinâmica de Thomson não está associada a um conceito da física: a energia de Thomson aparece como um *a priori* metafísico ao qual todas as leis da física se devem submeter (Muriel 2006, p. 40). Ele associa a um *a priori* metafísico um conceito preciso que dá conta da transformação, da conservação e da dissipação de energia (Muriel 2006, p. 44). E isto porque Thomson interroga-se sempre acerca do efeito mecânico perdido nas máquinas nos trabalhos de Carnot e Joule, pois nada pode ser perdido nas operações da natureza, nenhuma energia pode ser destruída.

Esta tese de Muriel contraria a de Smith que sugere que o termo energia introduzido por Thomson é desde o início um conceito da física.

---

<sup>99</sup> “Lazare Carnot (father of Sadi Carnot of thermodynamic fame) distinguished between *living force* ( $mv^2$ ) and the product of weight and height, which he called *latent living force*” (Hecht 2003: 488).

<sup>100</sup> “If the change whereby potential energy has been developed be exactly reversed, then as the potential energy disappears, the actual energy which had previously disappeared is reproduced” (Rankine 1853: 106).

<sup>101</sup> “Notre argumentation repose notamment sur le fait que la transition du concept de travail vers d’énergie doit prendre en compte l’effet mécanique qui constitue un concept intermédiaire central dans l’établissement de la théorie de Thomson” (Muriel 2006: 34)

<sup>102</sup> “La chaleur n’est pas de nature substantielle mais elle correspond à un état du mouvement” (Muriel 2006: 35).



Muriel refere que apenas entre 1849 e 1851, Thomson substitui o termo energia pelo de energia mecânica, em que o princípio de conservação expresso por Thomson se torna um verdadeiro conceito da física (Muriel 2006, p. 44).

Em 2011, Muriel defende que o conhecimento do conceito de energia é um conhecimento histórico, epistemológico e analítico do conceito.

Em 2009 **Ricardo Lopes Coelho** no artigo “On the Concept of Energy: How Understanding its History can Improve Physics Teaching” defende que a energia é uma equivalência entre grandezas.

Coelho mostra que os descobridores da energia não encontraram nada que não possa ser destruído ou criado mas antes um princípio de equivalência entre quantidades físicas que não tinham sido até então ligadas.

**Jennifer Coopersmith** em 2010 publicou a obra *Energy: the Subtle Concept*.

Coopersmith escreve uma história da energia dividida em períodos de evolução histórica: desde Leibniz até à teoria da relatividade de Einstein e à mecânica quântica.

A autora defende que a energia é o big bang do universo, a partir do qual tudo acontece.

Coopersmith sustenta que há dois tipos de energia, a energia cinética, do movimento, e a energia potencial, da interação entre os entes do universo. E o equilíbrio do universo resulta de uma interação activa entre estas energias em que o movimento é o elemento mais fundamental e regulador do equilíbrio à maneira das pinturas de Poussin no século XVII.

A autora chama a atenção para a importância da história e metodologia científica em cada modelo teoria-experiência de energia. No modelo físico, houve toda uma evolução histórica e científica da energia desde Leibniz até à teoria da relatividade de Einstein e à mecânica quântica.

Usando a terminologia de Kuhn, assistimos ao longo da história, a diversas mudanças de paradigmas e encontramos na emergência de um novo paradigma, de uma revolução científica à semelhança da revolução científica no século XVII com Galileu, Kepler e Newton e à revolução científica do início do século XX com a teoria da relatividade de Einstein e da mecânica quântica.

Estas revoluções científicas ocorrem quando surge um novo elemento que já não se adequa ao paradigma vigente apelando a um novo paradigma. Neste caso particular da energia, o actual paradigma da história das ciências que atribui a descoberta da conservação

da energia a quatro cientistas apela a um novo paradigma da história e filosofia das ciências pela introdução de um novo elemento, a recolocação da questão: quem descobriu a conservação da energia?

Coopersmith atribui a descoberta da energia a Mayer, Helmholtz, Joule, Colding e Séguin (Coopersmith 2010, p. 246), mas sustenta que foi Mayer que chegou primeiro à ideia de energia (Coopersmith 2010, p. 261). Mayer determinou o equivalente mecânico do calor em 1842 e Joule em 1843.

A autora defende que Mayer era mais um filósofo que um experimentalista e que o seu princípio filosófico se baseava no “nada vem do nada, a causa é igual ao efeito”; quando uma força é consumida, a mesma quantidade de força é gerada. Ele deu como seu primeiro exemplo a conversão de “força de queda” (energia potencial gravitacional) em “força movimento” (energia cinética), e rapidamente generalizou isto a todos os outros processos em física. Movimento, calor, luz, electricidade e as várias reacções químicas são um e o mesmo objecto sob diferentes formas (Coopersmith 2010, pp. 247-8). Mayer em 1845, teria estendido a ideia de transformações de energia aos processos vivos.

O ano de 1848 foi um ano infeliz não só por acontecimentos familiares como o seu trabalho não era reconhecido e outros começavam a ter o crédito por semelhantes ideias, principalmente Joule, Helmholtz e Holtzmann. Em 1850 Mayer tentou o suicídio. Porém, em 1860 Mayer ressurgiu com o início do reconhecimento do seu trabalho. Helmholtz e Clausius descobriram os artigos de Mayer e consideraram-no o verdadeiro fundador do princípio da energia (Coopersmith 2010, p. 249). Através de Clausius, Tyndall teve conhecimento de Mayer e atribuiu-lhe o mérito contra as proclamações de Tait na defesa de Joule. Thomson simpatizava com as ideias de Joule. Havia uma enorme disputa de prioridade na descoberta da energia conduzida por Tyndall, Clausius e Helmholtz a favor de Mayer e Tait, Thomson e Rankine a favor de Joule.

Segundo Coopersmith, no século XIX, a filosofia vitalista de Stahl, inventor da teoria do flogisto, e a *Naturphilosophie* de Hegel eram doutrinas dominantes na Alemanha. Os vitalistas atribuíam a vida nos organismos à presença de uma “força vital” em conjunto com alimentos, ar e água. Helmholtz pensava que isto era contrário à natureza, mas estava em condições de colocar estas ideias em forma de uma questão definitiva. No seu último ano de medicina, Helmholtz realizou que a teoria de Stahl tratava cada organismo vivo como um *mobile perpetuum* e que o movimento perpétuo era impossível (Coopersmith 2010, p.271).

Assim, as suas primeiras pesquisas entre 1845 e 1848 tiveram como finalidade refutar as teorias vitalistas.

Em 1847, Helmholtz tinha uma grande ambição: ele queria basear o seu novo princípio da impossibilidade do movimento perpétuo num fundamento filosófico e aplicá-lo a toda a física. Nesse ano, Helmholtz publicou *Sobre a conservação da força*. Coopersmith refere que Helmholtz começa por dizer que formulou uma hipótese física, desenvolveu as consequências desta hipótese em vários ramos da física, e finalmente, comparou estas consequências com as leis empíricas. Para a justificação destas ideias, Helmholtz baseou-se no idealismo transcendental de Kant (Coopersmith 2010, p. 272).

Segundo Coopersmith, há uma ironia pois Helmholtz ao tentar banir a *Naturphilosophie* de Hegel da ciência tornou-se bastante hegeliano (Coopersmith 2010, p. 278). Poggendorff recusou-se a publicar o trabalho de Helmholtz porque era muito teórico, especulativo e mais dramático ainda, não tinha contributos experimentais. Porém, Thomson reconheceu e deu apreço ao trabalho de Helmholtz. Também Maxwell apreciou o trabalho de Helmholtz, dizendo que o trabalho de Helmholtz marcou o início de uma nova era, a “era da energia”.

Porém, a autora refere que havia uma grande diferença nos argumentos filosóficos entre as escolas britânicas e alemãs. Thomson, Joule, Faraday e menos pronunciadamente, Maxwell, invocavam a permanência da “criação divina”, enquanto Mayer, Clausius e Helmholtz sustentavam a racionalidade da ciência.

**Fabio Bevilacqua** em 2011 publicou o artigo “Can history help understand energy conservation?”

O autor chama a atenção para a dificuldade em compreender e ensinar o conceito de energia ou outros conceitos patentes na literatura histórico-educacional, sendo uma das primeiras dificuldades a não compreensão do conceito pelos professores.<sup>103</sup> O autor refere que os diversos debates histórico-filosóficos dos séculos XIX e XX reflectem estas dificuldades porque os modelos são construídos sob o domínio entre a mecânica, electromagnetismo, termodinâmica e a energética. O debate Bohr-Pauli nos anos 30 do século XX acerca da conservação da energia em relação com o decaimento beta, e mais recentemente os trabalhos

---

<sup>103</sup> “The difficulties of teaching such a polysemic and encompassing concept (or concepts) have been outlined by a growing body of historic-educational literature. Often the first difficulty is the lack of understanding by the teacher her/himself” (Bevilacqua 2011).

de Prigogine em termodinâmica de processos não-equilíbrio mostram o reaparecimento destas dificuldades e a emergência de um reducionismo mesmo no final do século XX. Bevilacqua diz que os debates acerca da dualidade aparência-essência que remontam aos filósofos gregos pré-socráticos ainda permanecem entre nós.<sup>104</sup> O autor defende que o ensino de um conceito não se deve confinar à experiência num laboratório, mas deve incluir também e primeiro que tudo uma aprendizagem da história do conceito e a capacidade do estudante reflectir sobre o problema e ter as suas próprias ideias sobre o assunto em questão.

**Rachael Lancor** em 2012 publicou o artigo “Using Metaphor Theory to examine conceptions of Energy in Biology, Chemistry, and Physics”.

Lancor sustenta que os conceitos complexos como é o caso do conceito de energia são explicados por diversas metáforas que explicam aspectos diferentes do conceito (Lancor 2012). A autora apresenta seis metáforas comumente usadas para explicar o conceito de energia. Todas elas têm os seus problemas e não têm em conta o conceito de energia na sua totalidade. Elas clarificam uns aspectos do conceito obscurecendo outros. A autora refere que aquilo que temos designado por mal-entendidos sobre a energia são agora reconceptualizados como metáforas da energia (Lancor 2012).

Com base em cinco características da energia, conservação, degradação, transformação, transferência, fonte, Lancor mostra como os seis exemplos de metáforas clarificam uns aspectos do conceito de energia e obscurecem outros. A autora defende que a energia é um conceito abstracto, não directamente observável e impossível de medir directamente, tornando-se difícil de definir. Lancor sustenta que a energia é muitas vezes ensinada como substância pois é difícil defini-la de outro modo.

A energia como uma substância que está contida num sistema é uma metáfora que clarifica os aspectos da conservação e transferência da energia mas obscurece a ideia de transformação da energia. A energia como uma substância que pode mudar de forma é uma metáfora que sustenta que há diversas formas de energia mas negligencia a unidade subjacente. Esta metáfora clarifica a transformação e conservação da energia mas obscurece a transferência da energia. A energia como uma substância que flui é uma metáfora muito usada em biologia que clarifica a transferência da energia num sistema mas obscurece a

---

<sup>104</sup> “At the end of the 20 century again “emergence” defies “reductionism”, and we can say that, after more than two thousand five hundred years from the pre-socratic scientist-philosophers, the “becoming” versus “being” debates are still with us” (Bevilacqua 2011).

transformação de energia. A energia como uma substância que pode ser transportada é uma metáfora que clarifica a transferência da energia mas obscurece a transformação da energia. A energia como uma substância que pode ser perdida dum sistema é uma metáfora que clarifica a degradação e fonte da energia mas obscurece a conservação. A energia como uma substância que pode ser armazenada, adicionada ou produzida é uma metáfora muito frequente em química que clarifica a transferência e fonte da energia mas obscurece a conservação e degradação da energia (Lancor 2012).

Mas as metáforas são estruturas conceptuais que são usadas para explicar conceitos em vez de outras ideias. Assim, estas ideias não são a realidade dos fenómenos. A energia não pode assim ser uma substância.

Para a autora, a energia é um conceito abstracto descritível por múltiplas metáforas muitas vezes contraditórias à superfície.<sup>105</sup>

**Ugo Besson e Anna Ambrosis** em 2013 escreveram o artigo “Teaching energy concepts by working on themes of cultural and environmental value”.

Os autores chamam a atenção para o facto das pesquisas realizadas no âmbito do conceito de energia, revelarem concepções antropocêntricas e vitalistas nos jovens estudantes. A energia é conectada com a vida, com o movimento e capacidade de realizar determinadas acções e não com objectos inanimados à excepção de baterias e combustíveis.<sup>106</sup> E a ideia de que a energia pode transformar-se em diferentes formas, comumente divulgada nos textos de física, é entendida como um tipo de metamorfose e não como um princípio de conservação de uma quantidade física mensurável.<sup>107</sup> Os autores ainda argumentam que a energia é entendida como substância pelos estudantes.

**Fabio Bevilacqua** em 2014 escreveu o artigo “Energy: Learning from the past”.

Bevilacqua refere que não é fácil ensinar um princípio como o da conservação da energia que simultaneamente é uma pré-condição para a experiência científica; deriva de aproximações

---

<sup>105</sup> “Many abstract concepts (like energy) are too complex to be described by a single metaphor. As a consequence, multiple metaphors are used, which often appear contradictory on the surface” (Lancor 2012).

<sup>106</sup> “Research shows that anthropocentric and vitalistic conceptions are prevalent in youngest pupils: energy is connected to life, to movement and to the capability of doing actions, while it is not related to non-living and motionless objects, except for objects explicitly devoted to storing and supplying energy, like batteries and fuels” (Besson 2013).

<sup>107</sup> “The idea that energy can transform in different forms, largely conveyed by textbooks, is often meant as a kind of metamorphosis, like in fairy tales, rather than a conservation principle of a measurable physical quantity” (Besson 2013).

precoces entre *becoming* e *being*, potencialidade e actualidade; baseia-se na suposição da igualdade do oposto causa-efeito; no velho *ex* e *ad*; na impossibilidade do movimento perpétuo e dos seus opostos; na velha distinção entre quantidades intensivas e extensivas, etc.

No que concerne a Mayer e Helmholtz, o autor aponta a contribuição de ambos na descoberta da conservação da energia: Mayer reintrepeta dados antigos, desde os pré-socráticos, dum ponto de vista idealmente experimental enquanto Helmholtz identifica, possivelmente pela primeira vez, a física teórica como um terreno diferente da física experimental: enquanto a última lida com as leis dos fenómenos naturais, a primeira lida com o acordo entre princípios gerais e leis. Bevilacqua refere que Helmholtz constata que os princípios podem ter formulações diferentes e postula a sua versão do princípio de conservação como dependendo de duas considerações gerais: na impossibilidade do movimento perpétuo e no conceito newtoniano de força actuando à distância e dependendo apenas da distância (Bevilacqua 2014).

Bevilacqua defende que Helmholtz unifica com sucesso as tradições Newtonianas e Leibnizianas: por um lado, usando a força newtoniana; por outro, estabelecendo uma conexão causal entre a *vis viva* e a soma das forças de tensão, a sua reinterpretação da *vis mortua* (Bevilacqua 2014). E o autor acrescenta que esta formulação ainda é hoje largamente utilizada nos livros de texto.

O autor refere que Helmholtz estava bem ciente que assumindo que as forças dependem apenas da distância é uma condição necessária para definir um princípio de conservação da energia que esboça a divisão de energia potencial e cinética.

### **I.3. Dificuldades na definição de energia nos manuais e resolução de problemas**

A história do conceito de energia surge nos manuais, com base nos quais se formam os novos físicos. Além disso, há diversos conceitos de energia. A incapacidade de definir

univocamente a energia acarreta dificuldades para os estudantes não apenas na interpretação do conceito como também na resolução de problemas.

Nos textos de física, a energia total de um sistema é a soma da energia potencial e da energia cinética. A energia potencial transforma-se em energia cinética e vice-versa.

A energia é também ensinada como substância, capacidade de realizar trabalho, uma transferência, uma equivalência entre trabalho e calor, uma propriedade da matéria.

Consideremos alguns exemplos.

Segundo Maxwell (1831-1879), a energia dum corpo é a capacidade de realizar trabalho.<sup>108</sup>

Lodge em 1879 criticou esta definição de energia. A razão da crítica é explicada pela metáfora do capital: a energia seria poder de realizar trabalho tal como o capital é poder de compra, mas só se pode concretizar o poder se existirem coisas para comprar.

A definição de energia em física é, de acordo com Webster, a capacidade de realizar trabalho<sup>109</sup>.

Voigt em 1903, entende energia como capacidade de trabalho do corpo.<sup>110</sup> Ele formula uma equação que designa por equação generalizada da energia considerando como formulação exacta da proposição a equivalência entre calor e trabalho.<sup>111</sup>

Preston em 1919, sustenta que a nova ciência da termodinâmica é baseada em dois princípios fundamentais, ambos relacionados com a conversão do calor em trabalho. O primeiro destes princípios é o princípio de equivalência de Joule, conhecido como primeira lei da termodinâmica, o qual afirma uma proporcionalidade entre calor e trabalho. O autor ainda refere que esta noção é retirada da teoria dinâmica do calor segundo a qual o calor é uma forma de energia.<sup>112</sup>

---

<sup>108</sup> “the energy of a body may be defined as the capacity which it has of doing work” (Maxwell 1873: 90).

<sup>109</sup> “Energy, according to Webster, is the capacity to do work” (Chalmers 1963: 1).

<sup>110</sup> “Entzieht man dem Körper die an ihm aufgewandte und in der ursprünglichen Form verschwundene Arbeit oder Wärme nicht in Form von Wärme oder Arbeit, so kommt sie eben der Arbeitsfähigkeit, der Energie des Körpers zu gute“ (Voigt 1903: 78).

<sup>111</sup> “Die so verallgemeinerte Energiegleichung kann als die exakte Formulierung des Satzes von der Äquivalenz von Wärme und Arbeit gelten“ (Voigt 1903: 78).

<sup>112</sup> “The modern science of thermodynamics is based on two fundamental principles, both of which relate to the conversion of heat into work. The first of these is the principle of equivalence established by Joule, and is represented algebraically by the equation  $W = JH$ . This principle, which is known as the first law of thermodynamics, asserts that when work is spent in producing heat, the quantity of work spent is directly

Müller e Pouillet em 1926 referem que o termo crucial da energia é a equivalência. A primeira lei da termodinâmica é entendida como uma equivalência entre calor e trabalho mecânico.<sup>113</sup>

Saha e Srisvastava em 1935 defendem que é impossível conceber uma máquina que crie energia a partir do nada e produza movimento perpétuo. A energia pode apenas ser transformada de uma forma noutra.<sup>114</sup>

Wolf em 1949 refere que a primeira lei da termodinâmica é dada quantitativamente pela equação: a variação da energia interna é igual à soma da variação de calor e da variação das formas que não são calor.<sup>115</sup>

Hund em 1956 começa com a definição de calor como substância.<sup>116</sup> Posteriormente mostra que há fenómenos que não podem ser compreendidos pelo calor substância<sup>117</sup> e fala na ideia de calor como movimento e do calor como uma forma de energia.<sup>118</sup>

Allen e Maxwell em 1962 sustentam que Joule estabeleceu experimentalmente o princípio de equivalência entre calor e trabalho em 1843 e que quando tal relação exacta é estabelecida por experiência pode-se considerar a hipótese do calor como forma de energia.<sup>119</sup>

---

proportional to the quantity of heat generated ( . . . ) This conception is derived from the dynamical theory, according to which heat is regarded as a form of energy" (Preston 1919: 667).

<sup>113</sup> "Die am engsten an die unmittelbare Erfahrung sich anschließende Formulierung des ersten Hauptsatzes, die von jeder Hypothese, etwa über die Natur der Wärme frei ist, besagt daher einfach: Wärme und mechanische Arbeit sind äquivalent" (Müller; Pouillet 1926: 109).

<sup>114</sup> "It follows from a result of human experience which may be stated in this form: - "It is impossible to design a machine which will create energy out of nothing and produce perpetual motion. Energy can only be transformed from one form to the other."" (Saha ; Srisvastava 1935 : 434).

<sup>115</sup> "U<sub>2</sub>-U<sub>1</sub>=Q+A. Dies soll heißen, daß der Unterschied der inneren Energie nach der Energiezufuhr von außen, U<sub>2</sub>, gegenüber dem Wert U<sub>1</sub> von vorher gerade gleich der in den Körper neu hineingesteckten Energie sein muß. Diese wird dabei noch aufgespalten dargestellt in Form einer eventuellen Wärmemenge Q und irgendeiner sonstigen Energie A der eben charakterisierten Art, die nicht Wärme ist (...) Diese Gleichung ist der erste Hauptsatz der Thermodynamik in quantitativer Form" (Wolf 1949: 272).

<sup>116</sup> "Wärme ist also (zunächst) eine Substanz wie Materiemenge" (Hund 1956: 28).

<sup>117</sup> "Es gibt nun Erscheinungen, die mit der Vorstellung der Wärme als Substanz nicht erfaßt werden: die Erzeugung von Wärme durch den elektrischen Strom, die Entstehung von Wärme bei Reibung ( . )" (Hund 1956: 49).

<sup>118</sup> "Die genauere Untersuchung dieser Erscheinungen führte zu der Ansicht, daß Wärme eine Energieform sei. Zunächst führte sie zu der Ansicht, Wärme sei Bewegung der kleinsten Teile der Körper und damit eine Form von Bewegungsenergie (F. Mohr 1837); später zu der Ansicht, Wärme sei eine Form der Energie ( . . . ) (R. Mayer 1842)" (Hund 1956: 49-50).

<sup>119</sup> "J. P. Joule was the first to establish on a satisfactory experimental basis the Principle of Equivalence. This principle may be expressed by saying that when exchange occurs between work and heat, the ratio of the



Westphal em 1970 entende a energia como reserva de trabalho.<sup>120</sup> A energia seria capacidade de trabalho mas descreve um estado enquanto o trabalho refere-se a um acontecimento no tempo.<sup>121</sup>

Hudson e Nelson defendem em 1982 que a energia não pode ser criada nem destruída, apenas transformada.<sup>122</sup> Eles acrescentam que a energia não é uma substância mas uma quantidade.<sup>123</sup>

Para Keller, Gettys e Skove em 1993, calor é energia transferida entre um sistema e o seu ambiente devido a uma diferença de temperatura entre ambos.enquanto o trabalho é independente da diferença de temperatura entre ambos.<sup>124</sup>

Cutnell e Johnson em 1997, referem-se ao princípio da conservação da energia como: a energia não pode ser criada nem destruída, apenas convertida de uma forma noutra.<sup>125</sup> O calor é energia que flui de um objecto a temperatura mais elevada para outro de temperatura mais baixa devido à diferença de temperatura<sup>126</sup>

---

exchange is fixed" (...). "When such an exact relation between mechanical energy and heat has been established by experiment, it is not difficult to take a further step by introducing the hypothesis that heat is itself a form of energy, so that in the exchanges considered there is a transmutation from one form of energy to another" (Allen; Maxwell 1962: 284-5).

<sup>120</sup> "In einem Körper, an dem Verschiebungs- oder Beschleunigungsarbeit verrichtet wurde, ist also ein vom Betrage dieser Arbeit abhängiger Vorrat an Arbeit aufgespeichert. Man nennt ihn die Energie des Körpers, und diese ist – als gespeicherte Arbeit – mit dieser gleichartig" (Westphal 1970: 38).

<sup>121</sup> "Da Energie Arbeitsfähigkeit, also latente, aufgespeicherte Arbeit ist, so messen wir sie in den gleichen Einheiten wie die Arbeit (...) Man muß indessen zwischen Energie und Arbeit begrifflich unterscheiden. Energie beschreibt einen Zustand, Arbeit ist ein zeitlich ablaufender Vorgang" (Westphal 1970: 39).

<sup>122</sup> "Thus, energy can only be changed from one form to another; it cannot be created or destroyed. This conclusion, based on experiment, is known as the law of conservation of energy" (Hudson; Nelson 1982: 95).

<sup>123</sup> "Energy is an extremely important concept in physics. Although it appears in many different forms, it is not a physical substance, but a calculated quantity" (Hudson; Nelson 1982: 95).

<sup>124</sup> "Heat is energy transferred between a system and its environment because of a temperature difference between them (. . .) Work is energy transferred between a system and its environment by means independent of the temperature difference between them" (Keller; Gettys; Skove 1993: 423).

<sup>125</sup> "The principle of conservation of energy  
Energy can neither be created nor destroyed, but can only be converted from one form to another" (Cutnell; Johnson 1997: 177).

<sup>126</sup>"Definition of Heat  
Heat is energy that flows from a higher-temperature object to a lower-temperature object because of the difference in temperatures" (Cutnell; Johnson 1997: 359).

Bergmann e Schaefer em 1998, dizem que ninguém sabe o que a energia realmente é.<sup>127</sup> Energia e trabalho são distinguidos da seguinte forma. Fala-se em trabalho se a energia é transportada e em energia se ela não está em movimento ou está ligada a um corpo móvel.<sup>128</sup>

Breithaupt em 1999 define energia como a capacidade de realizar trabalho.<sup>129</sup> A energia existe em diferentes formas podendo ser transformada de uma forma noutra.<sup>130</sup> A energia pode ser transferida de um corpo para outro por dois métodos, sendo calor e trabalho definidos como energia transferida por cada um dos métodos.<sup>131</sup>

Tipler em 2000, define energia como a capacidade de realizar trabalho.<sup>132</sup> A energia pode aparecer em diferentes formas como energia potencial e cinética. Calor é definido como a energia que passa de um corpo para outro.<sup>133</sup>

Dransfeld, Kienle e Kalvius em 2001, começam por dizer que não sabemos responder à questão “o que é a energia”.<sup>134</sup> A energia não pode ser produzida nem aniquilada mas permanece constante num sistema fechado.<sup>135</sup>

---

<sup>127</sup>“Definition der Energie. Dabei stoßen wir gleich auf eine Schwierigkeit: Niemand weiß, was Energie wirklich ist. Der Physiker befindet sich dabei fast im selben Dilemma wie der Laie. (...) Er [der Energiesatz] besagt, daß sich bei keinem bisher in der Natur beobachteten Vorgang die Gesamtenergie eines abgeschlossenen Systems verändert hat” (Bergmann; Schafer 1998: 135).

<sup>128</sup> “Der Begriff der Energie ist keineswegs nur ein anderes Wort für Arbeit. Erst wenn Energie in ganz bestimmter Weise transportiert wird, sprechen wir von Arbeit. Wenn sie dagegen ruht oder mit einem bewegten Körper fest verbunden ist, nennen wir sie schlicht Energie” (Bergmann; Schaefer 1998: 136).

<sup>129</sup> “Energy is defined as the capacity to do work” (Breithaupt 1999: 157).

<sup>130</sup> “Energy exists in different forms” “Energy can be transformed from any one form into other forms. Whenever energy changes from one form into other forms, the total amount of energy is unchanged. This general rule is known as the principle of conservation of energy” (Breithaupt 1999: 157).

<sup>131</sup> “Energy is the capacity of a body to do work. Energy can be transferred from one body to another by two methods:

1. Work is energy transferred by means of a force moving its point of application.
2. Heat is energy transferred by means other than a force. A temperature difference is said to exist between two bodies if heat transfer between the two bodies could occur” (Breithaupt 1999: 376).

<sup>132</sup> “Der Begriff der Energie (...) beschreibt die Fähigkeit, Arbeit zu verrichten” (Tipler 2000: 129).

<sup>133</sup> “Wärme ist die Energie, die von einem Körper auf einen anderen aufgrund einer Temperaturdifferenz übergeht” (Tipler 2000: 539).

<sup>134</sup> “Hier stellt sich die Frage “Was ist eigentlich Energie?” Doch wir können sie, ähnlich der nach dem Wesen der Kraft, nicht beantworten” (Dransfeld; Kienle; Kalvius 2001: 109).

<sup>135</sup> “Energie kann weder erzeugt noch vernichtet werden, sondern bleibt in jedem abgeschlossenen System konstant. (Erfahrungstatsache!)” (Dransfeld; Kienle; Kalvius 2001: 109).

Çengel e Boles em 2002, sustentam que a termodinâmica é definida como a ciência da energia.<sup>136</sup> Mas os autores salientam a dificuldade em definir energia que dizem que pode ser definida como a capacidade de causar mudanças.<sup>137</sup> O calor é definido como a forma de energia que é transferida entre dois sistemas devido a uma diferença de temperatura.<sup>138</sup> O trabalho é a energia como a transferência de energia associado a uma força.<sup>139</sup> O trabalho e o calor estão ligados a processos e não a um estado.<sup>140</sup> Assim, diz-se que os sistemas possuem energia mas não calor ou trabalho.<sup>141</sup>

Halliday, Resnick e Walker em 2003, ressaltam a dificuldade em definir energia.<sup>142</sup> O trabalho é definido como energia que é transportada em que o sentido de transporte é analogado a uma transferência bancária electrónica.<sup>143</sup>

Sears, Zemansky, Young e Freedman em 2004, defendem que a lei da conservação da energia é dada pela equação seguinte: a soma das variações da energia cinética, potencial e interna é constante.<sup>144</sup> A energia não é criada ou destruída mas apenas muda de forma.<sup>145</sup>

---

<sup>136</sup> “Thermodynamics can be defined as the science of energy” (Çengel; Boles 2002: 2).

<sup>137</sup> “Although everybody has a feeling of what energy is, it is difficult to give a precise definition for it. Energy can be viewed as the ability to cause changes” (Çengel; Boles 2002: 2).

<sup>138</sup> “Heat is defined as the form of energy that is transferred between two systems (or a system and its surroundings) by virtue of a temperature difference” (Çengel; Boles 2002: 124).

<sup>139</sup> “work is the energy transfer associated with a force acting through a distance” (Çengel; Boles 2002: 126-7).

<sup>140</sup> “Both are associated with a process, not a state” (Çengel; Boles 2002: 127).

<sup>141</sup> “Systems possess energy, but not heat or work” (Çengel; Boles 2002: 127).

<sup>142</sup> “In der Tat ist der Begriff der Energie so weit gefasst, dass eine einfache Definition nur sehr schwer zu geben ist. Zunächst einmal ist Energie eine skalare Größe, die mit dem Zustand eines oder mehrerer Objekte in Zusammenhang steht. Diese Definition ist jedoch zu vage, als dass sie eine echte Hilfe sein könnte” (Halliday 2003: 152).

<sup>143</sup> “„Arbeit“ ist also Energie, die übertragen wird (...) Der Begriff “übertragen” kann auch irreführend sein. Er bedeutet nicht, dass etwas Materielles in das Objekt hineinoder aus dem Objekt herausfließt; diese Energieübertragung darf man sich also nicht wie fließendes Wasser vorstellen. Sie entspricht vielmehr dem elektronischen Geldtransfer zwischen zwei Bankkonten: Die Zahl in dem einen Konto steigt an, während die Zahl in dem anderen Konto kleiner wird, obwohl zwischen den beiden Konten kein materieller Gegenstand ausgetauscht wird” (Halliday 2003: 154).

<sup>144</sup> “This remarkable statement is the general form of the law of conservation of energy. In a given process, the kinetic energy, potential energy, and internal energy of a system may all change. But the sum of those changes is always zero” (Young; Freedman 2004: 264).

<sup>145</sup> “When we expand our definition of energy to include internal energy, Eq. (. . .) says that energy is never created or destroyed; it only changes form” (Young; Freedman 2004: 264).

Borgnakke e Sonntag em 2009, sustentam que a energia pode ser armazenada num sistema e transferida como calor, por exemplo, de um sistema para outro.<sup>146</sup>

Kreuzer e Tumblyn em 2010, defendem que a energia só pode mudar de forma se uma força for aplicada ao sistema realizando trabalho no sistema. Num sistema termodinâmico, a energia pode mudar de forma por dois métodos fundamentalmente diferentes: aplicando forças realizando trabalho ou transferindo calor para o sistema.<sup>147</sup>

Klein e Nellis em 2012, sustentam que a energia não é realmente uma coisa mas sim uma propriedade da matéria. A energia pode ser armazenada num sistema em formas externas como energia cinética e energia potencial, e como energia interna. A energia pode ser transferida como calor ou trabalho.<sup>148</sup>

Em alguns textos de física, como por exemplo no *Essentials of Physics* de Cutnell e Johnson de 2006, não há uma definição de energia.

A variedade ilustrada na definição de energia acarreta dificuldades para os estudantes.

Alguns autores ( Watts 1983; Goldring e Osborne 1994; Viennot 2001) têm salientado o facto dos estudantes usarem os conceitos de energia, força e momentum de uma forma indiferenciada quase como sinónimos.

Também há dificuldade na interpretação de outros conceitos. Por exemplo, Kanderakis (2012) sustenta que o conceito de trabalho é ensinado como o produto da força pelo deslocamento em relação com a transferência de energia. Ou seja, ele é ensinado como um conceito interno da física teórica, sendo a sua relação com o mundo da experiência, o seu significado empírico, usualmente descurado.<sup>149</sup> E o autor acrescenta que o conceito de trabalho tem historicamente uma dimensão empírica desde o seu início no século XIX com a prática da engenharia.

---

<sup>146</sup> “Energy can be stored within a system and can be transferred (as heat, for example) from one system to another” (Borgnakke; Sonntag 2009: 19).

<sup>147</sup> “In a thermodynamic system the energy can be changed by two fundamentally different methods: a) by applying forces doing work (...) b) by transferring heat into the system” (Kreuzer; Tumblyn 2010: 25).

<sup>148</sup> “Energy is not really ‘something’; rather it is a property of matter (Klein; Nellis 2012: 2) (...) Energy can be stored in a system in external forms ( as kinetic energy, KE, and potential energy, PE) and as internal energy (U) (...) Energy can be transferred across the boundary of a system as heat (Q) and work (W)” (Klein; Nellis 2012: 92).

<sup>149</sup> “Usually, in physics textbooks, the physical magnitude ‘work’ is introduced as the product of a force multiplied by its displacement, in relation to the transfer of energy. In other words, ‘work’ is presented as an internal affair of physics theory, while its relation to the world of experience, that is its empirical meaning, is missing” (Kanderakis 2012).

Têm-se desenvolvido métodos de ensino para evitar os mal-entendidos sobre a energia: Solomon (1985), Prideaux (1995), Trumper (1990, 1991, 1997), Valente (1999), Rizaki; Kokkotas (2009), Papadouris; Constantinou (2010), Besson; Ambrosis (2013). Os métodos de ensino devem ajudar os estudantes a distinguir observações de interpretações e compreender o papel da criatividade (Papadouris; Constantinou 2010). A criatividade deve ser entendida como o elemento novo que acresce ao modelo anterior e que apela a um novo paradigma. Também os manuais têm sido criticados: (Lehrman 1973; Sexl 1981; Duit 1981; Hicks 1983; Duit 1987; Bauman 1992; Chrisholm 1992; Cotignola et al. 2002; Doménech et al. 2007; Papadouris; Constantinou 2010). Alguns destes autores entre outros (Valente 1999; Greenslade 2002; Hecht 2003; Roche 2003; Coelho 2006) estudaram o conceito de energia em termos da sua evolução histórica. Porém, Papadouris e Constantinou continuam a ensinar o conceito com base nos manuais.<sup>150</sup> A energia é algo que pode ser armazenada, conduzindo à ideia de a energia ser uma substância. A maioria dos estudantes entende energia como uma substância (Barbosa e Borges 2006; Besson e Ambrosis 2013). Valente (1999) propõe um novo método de ensino da energia assente na criatividade da construção histórica.

Também a má interpretação dos conceitos pelos estudantes acarreta dificuldades na resolução de problemas.

Como já referido, nos textos de física, a energia total de um sistema é a soma da energia potencial e da energia cinética. A energia potencial transforma-se em energia cinética e vice-versa.

Vamos dar um exemplo que exemplifica esta definição. Seguidamente, vamos ver como o exercício pode ser resolvido usando a definição de energia pela equivalência.

Porém, há que distinguir dois sentidos de equivalência. O equivalente, quando uma coisa é igual a outra (são idênticas); a equivalência causa-efeito, quando toda a causa é igual a todo o efeito. Como exemplo do equivalente,  $mgh = \frac{1}{2}mv^2$ . Como exemplo da equivalência causa-efeito, todas as formas de energia da fase inicial e final constam na equivalência,  $E_{Pi} +$

<sup>150</sup> “Students are guided to develop “energy chains” as arrangements of the cards that denote the various forms of stored energy or the energy transfer processes, as they relate to a given system. This arrangement represents a mechanism, based on energy transfer and transformation, which provides an interpretation for the changes taking place in the system. In constructing energy chains, students need to determine the form in which energy was initially stored, the process(es) through which it has been transferred to other parts of the system and the forms in which it has been stored in these parts as the change under analysis evolves. They then use a specially software tool that has been embedded in the activity sequence to create arrangements of the appropriate cards so as to describe these energy transfer and form conversions” (Papadouris; Constantinou 2010).

$E_{Ki} = E_{Pf} + E_{Kf}$ . No exemplo que vamos apresentar, o equivalente coincide com a equivalência causa-efeito.

### Problema

Um corpo com uma massa de 5 Kg é deixado cair de uma altura de 45 m num local onde  $g = 10 \text{ m/s}^2$ . Calcule a velocidade do corpo ao atingir o solo. Despreze o atrito do ar.<sup>151</sup>

a) Como resolvem tradicionalmente:

[www.fisica.net/mecanicaclassica/energia\\_mecanica.php](http://www.fisica.net/mecanicaclassica/energia_mecanica.php)

Desprezando a resistência do ar, o sistema é conservativo, logo:

$$E^a_c + E^a_p = E^b_c + E^b_p$$

$$\frac{1}{2}mv_a^2 + mgh_a = \frac{1}{2}mv_b^2 + mgh_b$$

$$v_a^2/2 + gh_a = v_b^2/2 + gh_b$$

$$0^2/2 + 10 \cdot 45 = v_b^2/2 + 10 \cdot 0$$

$$450 = v_b^2/2$$

$$v_b = \sqrt{900}$$

$$v_b = 30 \text{ m/s}$$

O trabalho total realizado é  $mgh$  (a velocidade inicial do corpo é zero e este está sujeito a uma força de gravidade constante  $mg$ ).

Pelo teorema trabalho-energia,  $mgh$  é igual à energia cinética,  $\frac{1}{2}mv^2$ .

Pelo princípio da conservação da energia

---

<sup>151</sup> “Uma esfera de massa 5 Kg é abandonada de uma altura de 45 m num local onde  $g = 10 \text{ m/s}^2$ . Calcular a velocidade do corpo ao atingir o solo. Despreze os efeitos do ar” ([www.fisica.net/mecanicaclassica/energia\\_mecanica.php](http://www.fisica.net/mecanicaclassica/energia_mecanica.php))

$$mgh(a) + \frac{1}{2}mv^2(a) = mgh(b) + \frac{1}{2}mv^2(b)$$

a= corpo em repouso antes da queda

b= corpo em movimento durante a queda

A energia total é a soma da energia potencial ( $mgh$ ) e da energia cinética ( $\frac{1}{2}mv^2$ ) e é sempre constante (Serway 2006, p. 129). Durante a queda a energia potencial transforma-se em energia cinética.

$$5000 \cdot 10 \cdot 45 + 0 = 0 + \frac{1}{2}5000 \cdot v^2$$

$$10 \cdot 45 = \frac{1}{2}v^2$$

$$v = \sqrt{900}$$

$$v = 30 \text{ m/s}$$

b) Se considerarmos a equivalência entre os fenômenos, a equivalência entre energia potencial e energia cinética, então basta-nos considerar uma delas em cada caso. Não há transformação da energia potencial em energia cinética mas sim uma equivalência entre ambas:

$$mgh(a) = \frac{1}{2}mv^2(b)$$

$$5000 \cdot 10 \cdot 45 = \frac{1}{2}5000v^2$$

$$10 \cdot 45 = \frac{1}{2}v^2$$

$$v = \sqrt{900}$$

$$v = 30 \text{ m/s}$$

A explicação é a seguinte. No exemplo apresentado apenas se observa a queda do corpo. Com a explicação pela equivalência não somos obrigados a ver no fenômeno, o que não é observável, a transformação da energia potencial em energia cinética.

Neste exemplo, o equivalente coincide com a equivalência causa-efeito. Toda a energia no estado inicial é equivalente a toda a energia no estado final. Há uma equivalência entre as grandezas da causa e do efeito. Como a energia cinética inicial é zero e a energia potencial final também é zero, o equivalente é dado, neste caso, por  $mgh = \frac{1}{2}mv^2$ .

Vamos ver se esta explicação pela equivalência se aplica aos exercícios de química.

### Problema

Comprimiu-se adiabaticamente uma amostra de ar (num sistema fechado), dependendo um trabalho de 4.0 KJ. Depois fez-se passar o ar por um sistema de arrefecimento, para o qual cedeu 3.0 KJ de energia calorífica. Calcule  $q$ ,  $W$  e  $\Delta U$ .<sup>152</sup>

Como resolvem tradicionalmente:<sup>153</sup>

$q = -3.0 \text{ KJ}$  (é negativo pois sai do sistema)

$W = 4.0 \text{ KJ}$  (é positivo pois a compressão aumenta a energia do sistema)

$\Delta U = q + W = +1.0 \text{ KJ}$

### Resolução pela equivalência:

No exemplo, não somos obrigados a ver no fenómeno o que não é observável, a energia como a soma do calor e do trabalho. Também não se vê o calor nem o trabalho. Há uma equivalência entre os fenómenos. Apenas calculamos o resultado final. O calor que fica no sistema é  $|4| - |-3|$ , em que 4 é o calor total e -3 é o calor que sai do sistema. Logo, o calor que entra no sistema é 1. O trabalho que se desenvolve fora do sistema é  $|-4| - |-3|$ , que é 1. No exemplo, dizemos que entra trabalho e sai calor. Com esta explicação, apenas

---

<sup>152</sup> “Comprimiu-se adiabaticamente uma amostra de ar (contida num sistema fechado), dependendo um trabalho de 4.0 KJ. Fez-se depois passar o ar por um sistema de arrefecimento, ao qual cedeu 3.0 KJ de energia calorífica. Calcule  $q$ ,  $W$  e  $\Delta U$ ” (Corrêa; Basto 2000:433 ).

<sup>153</sup> “ $q = -3.0 \text{ KJ}$  (é negativo, pois sai do sistema)  
 $W = 4.0 \text{ KJ}$  (é positivo, porque a compressão aumenta a energia do sistema)  
 $\Delta U = q + W = +1 \text{ KJ}$ ” (Corrêa; Basto 2000: 433)



vemos o resultado final, o resultado do aquecimento. O importante não é a visualização do processo, mas o resultado final, a diferença absoluta, ou seja,  $|4|$  é igual a  $|-4|$ . Tal como no caso da mecânica, não há transformação de trabalho em calor. Há uma equivalência entre ambos, a qual está implícita na expressão do calor e trabalho em Joule.

Estes exemplos são aqui referidos para vermos como a explicação pela equivalência não necessita de vermos nos fenómenos aquilo que não é observável e permite a resolução de exercícios de física e química de uma forma conceptualmente mais simples.

Os conceitos de energia, trabalho e calor são tema de debate e discordância entre os físicos.

Segundo Enrico Fermi, Nobel da Física em 1938: "calor e trabalho mecânico são equivalentes; eles são dois aspectos diferentes da mesma coisa, designadamente, energia".<sup>154</sup> Mas para Fermi a energia é uma coisa, há uma substancialização da energia. Por outro lado, Feynman diz que a energia não é um objecto concreto mas sim um princípio matemático.<sup>155</sup> A noção de energia como uma substância foi também criticada por Planck em 1887; Hertz em 1894; Hudson e Nelson em 1982.

Para Keller, Gettys e Skove em 1993, o calor é definido como uma transferência de energia devido a uma diferença de temperatura entre o sistema e o ambiente enquanto o trabalho é uma transferência de energia independente da diferença de temperatura.

Segundo Borgnakke e Sonntag em 2009, o trabalho positivo é o trabalho realizado por um sistema, a energia que sai do sistema, enquanto o trabalho negativo é o trabalho realizado num sistema, a energia que entra no sistema.<sup>156</sup> O trabalho é uma forma de energia em trânsito, energia que é transferida. E a energia e o trabalho são disjuntivos, ou seja, a energia que entra no sistema é o trabalho negativo e a energia que sai do sistema é o trabalho positivo.

---

<sup>154</sup> "Heat and mechanical work are equivalent; they are two different aspects of the same thing, namely, energy" (Fermi 1937: 15).

<sup>155</sup> "The law is called the *conservation of energy*. It states that there is a certain quantity, which we call energy, that does not change in the manifold changes which nature undergoes. That is a most abstract idea, because it is a mathematical principle (...) It is not a description of a mechanism, or anything concrete (Feynman 1966: 4-1).

<sup>156</sup> "(...) work done by a system, such as that done by a gas expanding against a piston, is positive, and work done on a system, such as that done by a piston compressing a gas, is negative. Thus, positive work means that energy leaves the system, and negative work means that energy is added to the system" (Borgnakke; Sonntag 2009: 83).

#### I.4. Discussão do problema

Como referido, a historiografia das ciências atribui a descoberta da conservação da energia, em meados do século XIX, a Mayer, Helmholtz, Joule e Colding. Mas quem de facto descobriu a conservação da energia?

Coelho (2011) refere ser importante distinguir teorias de experiências. O autor atribui o cálculo do equivalente mecânico do calor a Mayer e Joule com base nas suas experiências, matematização e interpretações. Nomeadamente, as experiências de Mayer para o cálculo do equivalente mecânico do calor e a sua teoria da indestrutibilidade e transformabilidade da força; a experiência de Joule para a sua teoria da conversão do movimento em calor. O autor também refere as experiências de Colding com fricção de sólidos, a proporcionalidade entre movimento e calor e a sua tese acerca das forças da natureza.

Coelho mostra que apesar de eles concordarem com o equivalente mecânico do calor, eles tinham teorias diferentes. O autor sustenta que isto chama a atenção para o facto de estarmos sempre a reduzir uma interpretação ao mínimo conceptual em função de uma dada experiência.<sup>157</sup>

Mas podemos colocar a questão: será a teoria este mínimo conceptual adstrito à experiência? A teoria não se confina a uma mera articulação entre a teoria e a experiência. A teoria é muito mais ampla. Poderíamos propor fazer uma analogia com a Generalidade II de Althusser, em que a Generalidade II acrescenta sempre algo à Generalidade I de uma mera articulação entre a teoria e a experiência. Althusser marca uma distinção entre a teoria e o real que aquela pretende compreender, explicar, reconstituir. Mas fá-lo enquanto objecto de pensamento que produz, um efeito do conhecimento, mas que é distinto do objecto real (Althusser 1965, pp. 189-193).

Muriel refere que nós temos sempre a tendência para subsumir ao mínimo a articulação teoria-experiência. A teoria é muito mais ampla. Mas, será que existe apenas teoria e experiência?

---

<sup>157</sup> “This leads us to the question of how to reduce the interpretation to a minimum, so that all theories are reflected in this conceptual minimum, which also complies with experiments” (Coelho 2011).

Penso que podemos falar de objectos ideais enquanto construções teoria-experiência do pensamento humano, representações e objectos reais enquanto objectos incognoscíveis em si. Os objectos ideais enquanto modelos teoria-experiência têm um conhecimento provisório e contingente em cada momento histórico. Assim, pode haver energia física, energia química, energia biológica, entre outras. Trata-se de um conhecimento histórico, epistemológico e analítico do conceito energia tal como nos diz Muriel (2011).<sup>158</sup> Porém, a essência do conceito de energia transcende estes conhecimentos contingentes.

Coopersmith (2010) defende que a energia é o “motor” à maneira do big bang a partir do qual tudo o que existe no universo acontece.<sup>159</sup> A autora sustenta que há dois tipos de energia, a energia cinética, energia do movimento, e a energia potencial, de interação entre os entes do universo. E há uma interação activa entre estes dois tipos de energia fundamentais à maneira das pinturas de Poussin, no sec. XVII, em que o equilíbrio é conferido pela energia do movimento.<sup>160</sup>

Lancor (2012) defende que muitos conceitos abstractos como é o caso do conceito de energia são tão complexos que são explicados por múltiplas metáforas coerentes que descrevem aspectos diferentes do mesmo conceito. Assim, para Lancor, a energia é um conceito abstracto definível por metáforas mas que podem ser contraditórias entre si.

Na secção anterior, vimos que há inúmeras definições de energia mas não há unanimidade na definição do conceito, pelo que apesar de termos visto um pouco da história, historiografia e definições nos manuais, a colocação da questão inicial sobre o que é a energia ainda persiste.

---

<sup>158</sup> “The analytical subpart will consist firstly of a historical and comparative study of the evolution and the justification of the concept of energy in the scientific academic programs of several European countries. (...) Both analyses will take advantage of the detailed historical and epistemological study carried out in the first part of the research” (Muriel 2011).

<sup>159</sup> “(...) energy as the ‘go’ of the universe, as what makes things happen” (Coopersmith 2010: 350).

<sup>160</sup> “(...) there are two main forms of energy – kinetic, the energy of movement, and potential, the energy of interaction – and that there is a continual, flowing interchange between these forms, a perpetual ‘dance to the music of time’, as exemplified in Nicolas Poussin’s magnificent painting (frontispiece). But the kinetic component is the more fundamental – it is of one basic type and is also the mechanism by which statistical energy reaches equilibrium” (Coopersmith 2010: 350).

## I.5. Problemática na definição de energia

Mas o que é a energia?

Historicamente, o conceito de energia foi inicialmente designado por força no sec. XIX. Foi Thomson em 1851 que introduziu o termo energia na temática calor e movimento. Mas há que distinguir o conceito de energia da essência da energia. Para tal, e baseando-nos em Kant, dizemos que a essência da energia é incognoscível e situa-se no plano da transcendência. O plano ontológico está contido no gnoseológico. Apenas temos conhecimento dos diferentes modelos de energia contingentes em cada momento.

Richard Feynman dizia não sabermos o que seja a energia. No *Lehrbuch der Experimentalphysik* de Bergmann e Schaefer de 1998, lê-se: “ninguém sabe o que a energia realmente é”. Dransfeld et al. (2001), Çengel e Boles (2002), Halliday et al. (2003), entre outros, chamam a atenção para a dificuldade em definir energia. Muitos estudos têm sido realizados sobre a dificuldade dos estudantes na interpretação do conceito de energia: Watts (1983), Duit (1986), Nicholls e Ogborn (1993), Cotignola et al. (2002), De Berg (2006), Barbosa e Borges (2006), entre muitos outros. A história do conceito é um dado importante para a sua compreensão. De igual modo, o questionamento filosófico sobre a essência do conceito parece pertinente.

Como já referido, para Lancor (2012) os conceitos complexos como é o caso do conceito de energia são explicados por diversas metáforas que explicam aspectos diferentes do conceito.

Lakoff e Jonhson (1980) dizem que o nosso sistema conceptual ordinário é fundamentalmente de natureza metafórica (Lakoff e Jonhson 1980, p. 3).

Mas as metáforas são estruturas conceptuais que são usadas para explicar conceitos em vez de outras ideias. Assim, estas ideias não são a realidade dos fenómenos. A energia não pode assim ser uma substância. Mas o que será então a energia?

Mas não estaremos a confundir o conceito de energia com a sua essência? E mesmo quanto ao conceito de energia, a autora negligencia a evolução histórica do conceito.

O novo paradigma ou modelo deve incluir uma análise histórica e filosófica, analítica, cultural, da energia de acordo com o novo contexto em questão.

A dificuldade em definir o conceito de energia é assunto de debate e discussão entre os físicos. Mas, a diversidade de definições do conceito e a dificuldade de uma unanimidade na sua definição prende-se com a impossibilidade de se poder conhecer a essência do conceito e a inevitabilidade de estarmos sempre a construir modelos contextuais e contingentes. Esta dificuldade tem implicações históricas e filosóficas. A compreensão histórica da evolução do conceito ajuda a entender a sua formulação ao longo dos tempos assim como o modo como os diferentes obstáculos podem ser discutidos e ultrapassados. Também o questionamento sobre a sua essência é um elemento importante para a sua compreensão pois a diversidade de definições do conceito de energia mostra o não conhecimento e dificuldade em conhecer a sua essência.

Alguns exemplos da definição de energia salientam a dificuldade e divergência na definição do conceito. Maxwell em 1871 na obra *Teoria do calor* diz que energia dum corpo é a capacidade que o corpo tem de realizar trabalho<sup>161</sup> e o calor não é uma substância, é uma forma de energia porque o calor pode ser gerado<sup>162</sup> por trabalho e pode ser realizado trabalho por acção do calor. Lodge em 1879 criticou a definição de energia como a capacidade de realizar trabalho dizendo que a energia é uma transferência. Voigt em 1903 diz que a energia é a capacidade de realizar trabalho mas define-a como uma equivalência entre calor e trabalho. Borgnakke e Sonntag em 2009 dizem que a energia pode ser transferida como calor.

No plano do modelo físico, um dos aspectos que pode estar na origem desta divergência de definições prende-se com as definições de calor e trabalho. Em alguns textos de física, o calor e o trabalho são formas de energia (Maxwell 1871; Saha e Srisvastava em 1935; Wolf 1949; Hund 1956; Breithaupt 1999; Tipler 2000; Çengel e Boles 2002). Mesmo nos casos em que a energia é uma equivalência entre calor e trabalho (Voigt 1903; Preston 1919; Muller e Pouillet 1926; Allen e Maxwell 1962), há uma distinção entre energia, calor e trabalho.

---

<sup>161</sup> “the energy of a body may be defined as the capacity which it has of doing work” (Young 1807: 90).

<sup>162</sup> “The reason for believing heat not to be a substance is that it can be generated, so that the quantity of it may be increased to any extent, and it can also be destroyed, though this operation requires certain conditions to be fulfilled” (Young 1807: 93).

## **I.6. Da descoberta da conservação da energia**

Dos quatro descobridores da conservação da energia atribuídos pela historiografia das ciências, Robert Mayer e Hermann von Helmholtz (1821-1894) eram médicos em exercício.

A observação clínica de Mayer, motriz da ideia de conservação e transformação, foi tratada com algum pormenor pela classe médica, por altura da comemoração do centenário do autor, em 1914.

O modelo biológico da energia teve origem na observação clínica de Mayer e será analisado posteriormente.

Mayer e Helmholtz são nomeados como dois dos descobridores da conservação da energia por Kuhn. Logo, o que eles descobriram deve ser a energia. Mas será que ambos descobriram a conservação da energia?

Coelho (2011), atribuiu o cálculo do equivalente mecânico do calor a Mayer e Joule pelas suas experimentações, matematizações e interpretações. Mas o princípio da conservação da energia não é o mesmo que o cálculo do equivalente mecânico do calor.

Coelho chama a atenção para distinguir teoria de experiência apenas como metodologia. Isto porque a realidade concreta é construída por diversos modelos teórico-experimentais contingentes em cada momento contextual.

Mais uma vez colocamos a questão: será que existe apenas teoria e experiência?

Como referido, há o objecto real e o objecto ideal. Os objectos ideais são os diversos modelos contextuais e contingentes teoria-experiência. São os objectos cognoscíveis em cada momento contextual e histórico. O objecto real é na sua essência incognoscível. Apenas temos conhecimento de uma pequena faceta dele através de cada conhecimento cognoscível e contingente.

Mas este conhecimento não é cumulativo nem teleológico, pois o objecto real ou a coisa em si é por definição incognoscível.

Assim, o conhecimento é sempre contingente e relativo a cada contexto particular não visando um conhecimento absoluto.

Os modelos teórico-experimentais são construções do pensamento humano. Podemos falar então de modelos físicos, biológicos, químicos, sociais, entre outros. E é através do conhecimento destes modelos que o homem tem acesso ao conhecimento sempre contingente e provisório.

Penso que aqui podemos estabelecer uma analogia com a filosofia de Karl Popper, um ciclo de conjecturas e refutações dos diferentes argumentos ou modelos. E também podemos concordar com Thomas Kuhn na sua teoria das revoluções científicas, de mudanças de paradigma quando um elemento exterior ao antigo paradigma apela a um outro paradigma.

Elkana atribui a Helmholtz a descoberta da conservação da energia.<sup>163</sup> Ele refere que a história da emergência do conceito de energia e a história do estabelecimento da lei da conservação estão intimamente ligadas e que o conceito de energia tal como o conhecemos hoje em dia emergiu do artigo de 1847 de Helmholtz.<sup>164</sup>

Mas este princípio teve origem numa observação clínica de Mayer.

Mayer conseguiu compreender e explicar o modelo da energia, pois colocou-se no plano dos factos dizendo que nada podemos dizer acerca da essência das coisas. Mayer construiu uma teoria que antecede, fundamenta e se articula com os fenómenos.

Mayer no artigo de 42, começa por dizer que a causa é igual ao efeito e que a passagem de um a outro é transformação. Se uma coisa é igual a outra então são o mesmo. Mas Mayer defendeu-se habilmente deste aparente paradoxo e de uma influência da *Naturphilosophie*, dizendo que a transformação é uma equivalência, que apenas temos factos que são diversos e nada podemos dizer acerca da essência das coisas supondo que as causas são diversas.

---

<sup>163</sup> “(...) Elkana demonstrates for us why the claims to discovery of the theorem (or ‘law’) of conservation of energy date only from after Helmholtz’s foundational paper of 1847” (Elkana 1974: viii) “(...) It is admitted by all, that the man who formulated the principle for the first time mathematically, in all its generality, was Hermann von Helmholtz, and thus necessarily this essay on the emergence of the energy concept will centre around him. (...) It will be claimed that the concept of energy as we know it today (...) has emerged from Helmholtz’s paper ‘Über die Erhaltung der Kraft’ and that up till then, nobody, including Helmholtz himself, had a clearly defined concept of energy” (Elkana 1974: 9).

<sup>164</sup> “Thus the story of the emergence of the energy concept and the story of the establishment of the conservation law are difficult to disentangle; they are intimately connected while there exist numerous histories of the law of conservation of energy. (...) It will be claimed that the concept of energy as we know it today (by ‘today’ classical, pre-relativity physics is meant) has emerged from Helmholtz’s 1847 paper ‘Über die Erhaltung der Kraft’” (Elkana 1974: 9).

Os outros dois descobridores da conservação da energia atribuídos pela historiografia das ciências são Joule e Colding já referidos anteriormente.

A descoberta deste princípio tem base no seguinte raciocínio. Se a cor do sangue venoso nos trópicos é mais clara que nas zonas mais frias, então é porque se consome mais oxigénio nas zonas frias para manter a temperatura do corpo. Tal como Mayer refere no livro de 45, *ex nihilo nil fit*, para se conseguir algo, algo há que ser dispendido.

A tese de que a energia<sup>165</sup> não pode ser criada nem destruída, apenas pode ser transformada é atribuída a Mayer. Tal como referido, no seu livro de 45, ele defende: *ex nihilo nil fit*, para se obter algo, algo tem que ser dispendido ou nada vem do nada.<sup>166</sup> Mayer defende que a força se transforma e não é criada. A transformação é um conceito fundamental no seu pensamento. Mas Mayer não pretende explicar como o originado provém do originante, isto apenas é um facto. O originado é igual ao originante e eles são uma transformação de um no outro. E ele acrescenta que este questionamento é infrutífero, próprio de poetas e filósofos da natureza.<sup>167</sup> Mas, se uma coisa é igual a outra e a outra é diversa como podemos entender a palavra transformação? A transformação só pode ser entendida como uma equivalência. Mayer diz que a causa é igual ao efeito e que o efeito é diverso. Ele diz que nada podemos dizer acerca da essência, da causa.

O sentido de conservação da energia varia em Mayer e Helmholtz.

Assim, a atribuição do mérito da descoberta da conservação da energia é um dado interessante, pois faz variar o sentido de energia. Em Mayer a energia é uma equivalência entre grandezas. Em Helmholtz a energia é uma entidade abstracta, uma teoria matemática.

---

<sup>165</sup> Mayer não fala de energia mas sim de força. O termo energia foi utilizado com uma variedade de sentidos no século XVIII. O termo energia foi introduzido no contexto da temática calor e movimento por Thomson em 1851.

<sup>166</sup> "Es entsteht keine Wirkung ohne Ursache; keine Ursache vergeht ohne entsprechende Wirkung Ex nihilo nil fit. Nil fit ad nihilum" (Mayer 1845:5).

<sup>167</sup> "Ein gegebenes Quantum Eis lässt sich in eine entsprechende Menge Wassers verwandeln; diese Thatsache steht fest da und unabhängig von unfruchtbaren Fragen über Wie und Warum und von gehaltlosen Speculationen über den letzten Grund der Aggregats-Zustände. Die ächte Wissenschaft begnügt sich mit positiver Erkenntniss und überlässt es willig dem Poëten und Naturphilosophen, die Auflösung ewiger Räthsel mit Hülfe der Phantasie zu versuchen" (Mayer 1845:10).



## I.7. Conclusão

O conceito de energia é ainda hoje um assunto problemático. Há diversas definições de energia mas não há unanimidade na definição do conceito.

Como vimos antes, a energia é definida:

- como substância (Fermi 1937; Hund 1956; Ostwald 1908);
- como capacidade de realizar trabalho (Maxwell 1872; Voigt 1903; Westphal 1979; Breithaupt 1999; Tipler 2000);
- entendida como algo transferível (Lodge 1879; Keller, Gettys e Skove 1993; Breithaupt em 1999; Tipler 2000; Çengel e Boles 2002; Borgnakke e Sonntag 2009);
- como um princípio matemático (Feynman 1966);
- como uma equivalência (Voigt 1903; Preston 1919; Muller e Pouillet 1926; Allen e Maxwell 1962);
- como uma propriedade da matéria (Klein e Nellis 2012).

Também nos textos de física, a energia libertada transforma-se em outra forma de energia, o calor ou o trabalho (Wolf 1949; Hund 1956; Allen e Maxwell 1962; Beithaupt 1999; Çengel e Boles 2002).

Mas para definir o conceito torna-se necessário individualizá-lo. Torna-se necessário entender a sua evolução histórica.

Energia significa etimologicamente actividade. Apesar de uma diversidade do uso do termo energia, ele foi pela primeira vez definido no contexto da temática calor e movimento por Thomson em 1851.

A historiografia das ciências atribui a descoberta da conservação da energia a Mayer, Joule, Helmholtz e Colding em meados do século XIX.

Elkana atribui a Helmholtz a descoberta da conservação da energia em termos matemáticos. Mas é Mayer quem tem a ideia a partir de uma observação clínica.

Podemos verificar que a atribuição da descoberta da conservação da energia a Mayer ou a Helmholtz faz variar o sentido de energia. Para Mayer, a energia é uma equivalência

entre grandezas. Helmholtz concebe a energia como uma entidade abstracta, uma teoria matemática.

Tal como já referido, a energia é definida como substância, capacidade de realizar trabalho, transferência, equivalência, metáfora, etc. Mesmo nos casos em que a energia é definida como uma equivalência, há uma distinção entre calor, trabalho e energia. Este facto prende-se com a dificuldade em definir estes conceitos.

A dificuldade em definir o conceito de energia tem sido objecto de discussão entre os físicos e muitos historiadores da ciência. Se não há unanimidade na definição do conceito, não é possível ensiná-lo devidamente. Isto tem-se traduzido em inúmeros mal-entendidos sobre a energia.

Têm-se desenvolvido métodos de ensino para evitar os mal-entendidos sobre a energia: Solomon (1985), Prideaux (1995), Trumper (1990, 1991, 1997), Rizaki; Kokkotas (2009), Papadouris; Constantinou (2010), Besson; Ambrosis (2013).

Lancor (2012) chama a atenção para o facto de conceitos complexos como o da energia serem explicados por metáforas diversas que clarificam aspectos do conceito obscurecendo outros. E que os diferentes mal-entendidos sobre a energia são agora compreendidos como metáforas da energia. Mas a autora negligencia a evolução histórica do conceito e como vimos o conceito de energia emergiu numa observação clínica em 1840.

O novo paradigma ou modelo de ensino da energia deve incluir uma análise histórica e filosófica, analítica, cultural, da energia de acordo com o novo contexto em questão.

Importa distinguir o conceito de energia da essência da energia. Por hipótese, a essência da energia é incognoscível e o conceito de energia é um objecto ideal, um objecto teoria-experiência. Há diversos modelos teoria-experiência como é o caso da conservação da energia.

## Cap. II. Robert Mayer

Julius Robert Mayer (1814-78) nasceu em 25 de Novembro de 1814 em Heilbronn, Wurttemberg, agora Alemanha; morreu na sua cidade natal, Heilbronn, a 20 de Março de 1878.

O pai, Christian Jakob Mayer, era proprietário de uma próspera farmácia em Heilbronn e casou com Katharina Elisabeth Heermann, filha de um encadernador de Heilbronn.

Robert era o mais novo de 3 filhos do casal; tendo os filhos mais velhos seguido a profissão do pai.

Mayer desde cedo interessou-se por mecanismos mecânicos. O seu hobby preferido era manipular experiências físicas e químicas.

Mayer estudou em Heilbronn no Ginásio clássico até 1829, transferindo-se depois para o Seminário Teológico Evangélico em Schontal. Embora fosse um estudante medíocre, passou o Abitur em 1832. Após o que frequentou a Faculdade de Medicina da Universidade de Tübingen. Em Fevereiro de 1837 foi preso e expulso da universidade por participar numa sociedade secreta estudantil. Em 1838 passou o exame de estado de Medicina com distinção.

No inverno de 1839-40 visitou Paris e de Fevereiro de 1840 a Fevereiro de 1841 serviu como médico a bordo um navio mercante holandês em viagem para as Índias Orientais. Uma vez em Jakarta, Java, Mayer realizou diversas observações fisiológicas que lhe deram a ideia de que a manutenção da temperatura do corpo requer que qualquer coisa seja gasta.

Mayer voltou à sua terra natal, Heilbronn, e aí se dedicou a uma carreira médica bem sucedida. Mas a sua paixão começou a ser a física.

Casou em 1842 com Wilhelmina Regine Caroline Closs, de quem teve 7 filhos, 5 dos quais morreram cedo.

Obcecado pela ideia de transformabilidade entre calor e movimento elaborou vários artigos científicos.

Em 1842, Justus von Liebig, publicou-lhe nos seus *Annalen der Chemie und Pharmacie* um artigo clássico sobre a conservação da energia. Depois disto, publicou por

iniciativa própria, em 1845, “O movimento orgânico em conexão com o metabolismo”, em 1848, “Contributos à dinâmica celeste, em exposição popular” e em 1851, “Observações sobre o equivalente mecânico do calor”.

Mayer manteve uma posição conservadora durante a revolução de 1848 o que lhe custou uma curta prisão pelos insurretos e um desentendimento com o seu irmão Fritz. Deprimido por estes acontecimentos e pela falta de reconhecimento dos seus trabalhos, tentou suicidar-se em Maio de 1850. Durante o início dos anos 50, vários ataques de insanidade obrigaram a vários internamentos em Goppingen, Konnenburg e Winnenthal. Só depois de 1860, Mayer começou a ser internacionalmente reconhecido. Só tarde em 1871 recebeu a Royal Society's Copley Medal.

Morreu em Heilbronn de tuberculose em 1878.

## II.1. A observação clínica de Mayer à luz da ciência da época e da ciência actual

Em 1840, Robert Mayer fez uma viagem de barco para Java como médico de bordo. A tripulação tinha feito boa viagem, mas sofria duma infecção pulmonar à chegada. Ao fazer flebotomia, ficou admirado por o sangue venoso ser mais claro do que na zona da Alemanha.

<sup>168</sup> Ele conta-nos que suspeitara ter picado uma artéria por engano, mas verificou não ser o caso.

A observação clínica de Mayer, motriz da ideia de conservação e transformação, foi tratada com algum pormenor pela classe médica, por altura da comemoração do centenário do autor, em 1914.

No quadro destas comemorações surgiram vários artigos, em alguns dos quais se colocava a questão de saber se o sangue venoso humano é mais claro na região tropical do que na Europa central, nomeadamente durante o inverno.

Exner em 1914 (*Wiener Klinische Wochenschrift*) comenta, não ter encontrado nenhuma indicação na literatura sobre o assunto, a cor do sangue, nem do tempo nem anterior. Stigler, que tinha escrito sobre higiene e fisiologia nos habitantes dos trópicos, ter-lhe-ia comunicado, nunca ter encontrado a confirmação da observação de Mayer. Também Pfister em 1914, que escreveu sobre o médico de bordo Julius Robert Mayer, no *Archiv für Schiffs und Tropenhygiene* com especial atenção para a patologia e terapia, confirma não ter encontrado tal indicação na literatura do tempo nem na do tempo de Mayer. Jentsch na *Die Naturwissenschaften* de 1916 refere uma passagem que lhe tinha sido mostrada por Ebstein do livro de Johann Autenrieth (1772-1835), *Handbuch der menschlichen Physiologie*, 1801, no qual se lê: “também. no ser humano, a cor do sangue venoso se aproxima da do arterial no verão” (Jentsch 1916, p. 91). Farber em 1954, estudou alguns autores do sec. XVIII nos quais a relação era estabelecida. Adair Crawford (1748-1795) em *Experiments and Observations on*

---

<sup>168</sup> “Während einer hunderttägigen Seereise war bei der aus 28 Köpfen bestehenden Equipage kein erheblicher Krankheitsfall vorgekommen; wenige Tage aber nach unserer Ankunft auf der Rhede von Batavia verbreitete sich epidemisch eine acute (katarrhalisch-entzündliche) Affection der Lungen. Bei den reichlichen Aderlässen, welche ich machte, hatte aus der Armvene gelassene Blut eine ungemeine Röthe, so, dass ich der Farbe nach glauben konnte, eine Arterie getroffen zu haben. (...) Bei einer reichlichen Aderlässe, welche ich zwei Monate nach unserer Ankunft in Java an einem kräftigen, von einer Leberentzündung befallenen Matrosen anstellte, fand ich eine normale schwarze Farbe des Blutes“ (Mayer 1845:84-5).

*Animal Heat and the Inflammation of Combustible Bodies*, 1778, defendia a influência do calor exterior na cor do sangue. Imergiu um cão em água bastante quente e ao fim de meia-hora “o sangue venoso assumia muito aproximadamente a tonalidade do arterial” (Farber 1954, p. 6).

Tendo Mayer observado a diferença de cor do sangue, ou simplesmente julgado observar, nela reside, segundo ele próprio, o gérmen da sua descoberta. A descoberta não pode naturalmente depender do dado de observação, a intensidade da cor do sangue, pois dezenas de anos mais tarde e ainda hoje não se sabe, se está ou não correcta. A descoberta de um dos maiores princípios da ciência germinou com base no seguinte raciocínio. Se o sangue venoso humano é mais claro nas zonas quentes, como os trópicos, do que nas frias, como a Europa, será porque nestas se gasta mais oxigénio, para manter a temperatura do corpo. Isto teria sugerido que, para se conseguir algo, algo terá de ser dispendido. Regressado à Europa, Mayer envia um artigo a uma revista de física, *Annalen der Physik und Chemie*, conhecida como *Anais de Poggendorf*, o seu editor. O artigo não foi publicado, o editor nem sequer deu resposta. Foi encontrado anos mais tarde, depois da morte de Poggendorf, entre os seus papéis, e publicado. Em 1842, envia um outro artigo para a revista de Liebig, *Annalen der Chemie und Pharmazie*, que foi publicado. Aqui radica a comemoração pela classe médica em 1914. É com efeito graças às seis páginas deste artigo que se atribui a Mayer o mérito da descoberta do princípio de conservação da energia.

Tentando responder à questão sobre a cor do sangue venoso nos trópicos ainda hoje não demonstrada, elaborou-se uma hipótese de modelo explicativo com base nos dados do próprio Mayer e nas teorias biológicas hodiernas.

Comecemos por uma análise histórica.

O gérmen do princípio da conservação da energia assentou no seguinte raciocínio. Se o sangue venoso nos trópicos é mais claro que nos climas mais frios então há mais oxidação ou consumo de oxigénio nos segundos para manter a temperatura do corpo. A ideia de Mayer baseava-se na teoria do oxigénio e da combustão de Lavoisier. Lavoisier no *Traité Élémentaire de Chimie* faz uma analogia entre a combustão dos elementos químicos e a respiração.

Lavoisier verificou inicialmente que o óxido de ferro quando aquecido se transformava em ferro, libertando um gás com as mesmas propriedades que o “ar do fogo” e que

designou inicialmente por “ar altamente respirável”,<sup>169</sup> e depois por oxigénio. A união desta base com o calórico designa-se de gás oxigénio.<sup>170</sup>

O oxigénio foi isolado em 1774 por Carl Wilhelm Scheele (1742-1786) e Joseph Priestley (1733-1804) mas ainda designado por “ar desflogisticado”. Eles explicavam a combustão à luz da teoria do flogisto lançada no início do século XVIII por Georg Stahl (1660-1734), como o resultado da libertação do flogisto contido nos corpos e sua união com o “ar do fogo”. A cor escura do sangue venoso era devida ao maior teor em flogisto e a cor vermelha do sangue arterial à retirada do flogisto pelo ar dos pulmões.

Lavoisier concluiu que o fenómeno da combustão deveria ser interpretado ao contrário da teoria do flogisto. As substâncias que se queimavam, em vez de libertarem o flogisto que era um elemento imaginário que não deveria existir, se oxidavam, ou seja, absorviam oxigénio.

Ele teve a intuição que o calor animal se devia a uma combustão interna na qual era consumido o oxigénio do ar inspirado e libertado o “ar fixo” que designou de gás azótico e depois de gás carbónico ( $\text{CO}_2$ ). Ele atribuiu a cor vermelha do sangue arterial ao oxigénio e a cor escura do sangue venoso ao gás carbónico.

Pierre Laplace (1749-1827), matemático francês e amigo de Lavoisier, submeteu esta hipótese a uma análise matemática e concluiu que o calor produzido era proporcional ao consumo de oxigénio.

Joseph Lagrange (1736-1813), matemático e astrónomo francês, demonstrou com base em cálculos matemáticos, que se a combustão ocorresse apenas nos pulmões, o calor libertado seria tão intenso que lesaria todo o parênquima pulmonar. Ele defendeu a ideia de que o consumo de oxigénio e a produção de dióxido de carbono se dava em todos os órgãos e que nos pulmões apenas se dava a troca de gases. Facto que se veio a ser confirmado posteriormente e que é sustentado hoje em dia.

O erro de Lavoisier, demonstrado por Lagrange, foi o de acreditar que a combustão se dava apenas nos pulmões, onde o sangue entrava em contacto com o ar inspirado e que o calor gerado nos pulmões seria distribuído pelo sangue a todo o corpo.

---

<sup>169</sup> “At first I named it highly respirable air, to which has since been substituted the term of vital air” (Lavoisier 1790: 36-37).

<sup>170</sup> “We have given to the base of the former, or respirable portion of the air, the name of oxygen(...) because, in reality, one of the most general properties of this base is to form acids, by combining with many different substances. The union of this base with caloric we term oxygen gas” (Lavoisier 1790: 51-52).

Gustav Magnus (1802-1870), químico, físico e fisiologista alemão, doseou pela primeira vez o oxigénio e o dióxido de carbono no sangue arterial e venoso, comprovando que as trocas de oxigénio e dióxido de carbono não se dão apenas no pulmão mas sim em todo o organismo na intimidade dos tecidos.<sup>171</sup> Facto que está de acordo com a teoria actual. As trocas de oxigénio e dióxido de carbono dão-se ao nível dos capilares dos tecidos. A cor escura do sangue venoso era devida ao teor em dióxido de carbono pelo fenómeno da oxidação e a cor vermelha viva do sangue arterial ao de oxigénio.

Mayer observou em 1840 aquando da viagem à Indonésia, Java, que a cor do sangue venoso das pessoas dos trópicos era mais clara que nos climas mais temperados. Ele pensou que este facto se devia à menor diferença de temperatura entre o organismo e o ambiente nos trópicos e portanto menos combustão do oxigénio e menos consumo de oxigénio para manter o organismo quente. Daí a cor mais clara do sangue venoso. Uma equivalência entre o consumo de oxigénio e a produção de dióxido de carbono. Facto que estava em contradição com a confusão existente na época acerca da cor do sangue. Durante a terceira e quarta década do século XIX, os fisiologistas atribuíam ao fígado a função de remover o dióxido de carbono em excesso no sangue através da bilis. Esta teoria assentava na ideia de que o sangue nos climas quentes era mais escuro do que nos climas mais frios porque havia menos oxigenação do sangue e menos libertação de dióxido de carbono do sangue (Caneva 1993). Isto devido por um lado à ideia assente na diferença de temperatura do organismo e do ambiente não relacionando com a fonte do calor animal, ou seja, a não existência de uma equivalência entre o consumo de oxigénio e a produção de dióxido de carbono; por outro lado à ideia de que o fígado era o órgão que eliminava o dióxido de carbono do sangue venoso através da bilis e nos climas quentes havia mais bilis no sangue venoso e mais dióxido de carbono. Como tal nos climas quentes havia menos oxigenação do sangue e menos libertação de dióxido de carbono. Deste modo, as observações de Mayer foram surpreendentes. Ele esperava observar o sangue venoso nos trópicos mais escuro do que nos climas mais frios.

Para tentarmos perceber a observação de Mayer, analisemos as teorias actuais acerca da cor do sangue.

---

<sup>171</sup> “Gustav Magnus (1802-1870) químico e fisiologista alemão, doseou pela primeira vez o oxigénio e o gás carbónico no sangue arterial e venoso, comprovando, assim que a utilização de oxigénio e eliminação de gás carbónico se passa na intimidade dos tecidos” (Rezende 2000: 3).



A cor mais clara ou mais escura do sangue resulta do teor de oxigénio ( $O_2$ ) e dióxido de carbono ( $CO_2$ ) ligado a uma molécula de hemoglobina, respectivamente a oxihemoglobina e a carboxihemoglobina.

Vamos analisar o processo de transporte do  $O_2$  e do  $CO_2$  no sangue e tecidos e a sua ligação à molécula de hemoglobina.

A difusão do oxigénio e do dióxido de carbono de um compartimento a outro depende da diferença da pressão parcial de oxigénio ( $PO_2$ ) ou fracção de oxigénio ligado à hemoglobina e da  $PCO_2$  entre os diferentes compartimentos.<sup>172</sup> Assim, nos pulmões, o oxigénio passa dos alvéolos pulmonares para os capilares pulmonares porque a  $PO_2$  nos alvéolos é superior à dos capilares na inspiração. Ao nível dos capilares dos tecidos do restante organismo, o oxigénio do sangue arterial passa dos capilares para os tecidos devido a uma mais elevada  $PO_2$  nos primeiros que nos segundos. Conversamente, o oxigénio metabolizado em dióxido de carbono nos tecidos pela metabolização dos alimentos passa dos tecidos para os capilares porque a pressão parcial de  $CO_2$ , a  $PCO_2$ , é mais elevada nos tecidos que nos capilares. O  $CO_2$  liga-se à hemoglobina e é transportado sob a forma de carboxihemoglobina até aos pulmões. Nos pulmões, a  $PCO_2$  no sangue venoso é superior que nos alvéolos e o dióxido de carbono passa para os alvéolos pulmonares e é expelido na expiração.

Nas situações de hiperóxia ou hiperoxémia há elevado teor de oxihemoglobina no sangue arterial que difunde para os capilares dos tecidos. Para que o elevado teor de oxigénio ligado à hemoglobina passe dos tecidos para os capilares e daí às veias, ao sangue venoso, é necessário que haja pouco metabolismo do oxigénio em dióxido de carbono ao nível dos tecidos. Isto acontece por exemplo quando há pouco aporte de alimentos ou na presença de uma patologia gastrointestinal por má absorção intestinal. Outra situação de elevado teor de oxigénio no sangue é a anemia em que há diminuição da hemoglobina e mais oxigénio livre no sangue.

Vamos então construir um modelo explicativo hodierno para a cor do sangue venoso.

Atribui-se a cor mais clara do sangue ao teor do oxigénio da hemoglobina ou ligação de um átomo de oxigénio à molécula de hemoglobina resultando a oxihemoglobina. Nos climas mais frios, há mais consumo de alimentos e portanto mais metabolismo da glucose no ciclo de Krebs com produção de ATP, a fonte de calor do organismo vivo. Há libertação de

---

<sup>172</sup> “(...) we pointed out that gases can move from one point to another by diffusion and that the cause of this movement is always a partial pressure difference from the first point to the next” (Guyton 2006: 502).

uma molécula de dióxido de carbono que se liga à molécula de hemoglobina, resultando uma molécula de carboxihemoglobina que confere a cor mais escura ao sangue.

Este processo químico de metabolização da glucose ocorre nas mitocôndrias e as trocas gasosas de oxigênio e dióxido de carbono dão-se ao nível dos capilares dos tecidos. Nos pulmões, dão-se apenas as trocas gasosas de oxigênio que vem do ar inspirado e dióxido de carbono que é expelido no ar expirado sem haver metabolismo da glucose dos alimentos. O ar inspirado rico em oxigênio vai para os pulmões onde se dão as trocas gasosas ao nível dos alveolos pulmonares com a produção de dióxido de carbono que é expelido no ar expirado.

O sangue venoso contendo carboxihemoglobina resultante das trocas gasosas ao nível dos capilares dos tecidos e proveniente do metabolismo da glucose no ciclo de Krebs, entra na aurícula direita, sai do ventrículo direito e é levado pela artéria pulmonar para o pulmão onde é oxigenado, ou seja, o oxigênio do ar inspirado liga-se à molécula de hemoglobina por troca com o dióxido de carbono resultando uma molécula de oxihemoglobina. O sangue arterial oxigenado é transportado pelas veias pulmonares para a aurícula esquerda e depois passa ao ventrículo esquerdo e através da artéria aorta é levado a todo o organismo.

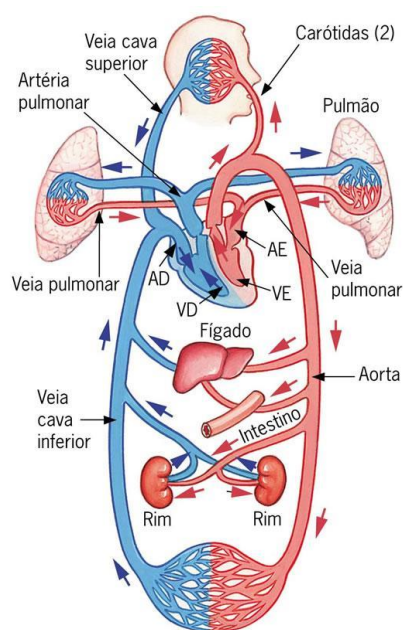


Fig 11

biogilde.wordpress.com. Cf. Guyton 2006: 162

As diferenças da cor do sangue venoso radicam numa equivalência entre o consumo de oxigénio e a produção de dióxido de carbono. Esta equivalência foi estabelecida por Theodore Saussure na sua obra *Recherches chimiques sur la vegetation* em 1804 acerca da germinação dos vegetais.

Quanto menor for o metabolismo da glucose no ciclo de Krebs, menos moléculas de carboxihemoglobina são formadas e transportadas no sangue venoso e por isso menos escuro é o sangue. É o que se passa nos trópicos, onde há menos consumo de alimentos e menos diferença de temperatura entre o organismo e o ambiente havendo menos metabolismo da glucose.

Podemos propor uma hipótese de modelo teórico para organismos vivos dum ponto de vista hodierno. Para tal, torna-se necessário considerar alguns aspectos.

Os organismos vivos são constituídos por órgãos, os órgãos por tecidos e estes por células. A célula é composta por um núcleo rodeado pela membrana celular ou citoplasmática. O citoplasma é o espaço compreendido entre o núcleo e a membrana celular e nele existem os organelos celulares. O organelo celular que nos interessa aqui referir é a mitocôndria, a unidade respiratória celular, onde ocorre o processo químico de metabolização da glucose no ciclo do ácido cítrico ou ciclo de Krebs. Na membrana celular ocorre o processo fisiológico da bomba electrogénica de sódio-potássio.

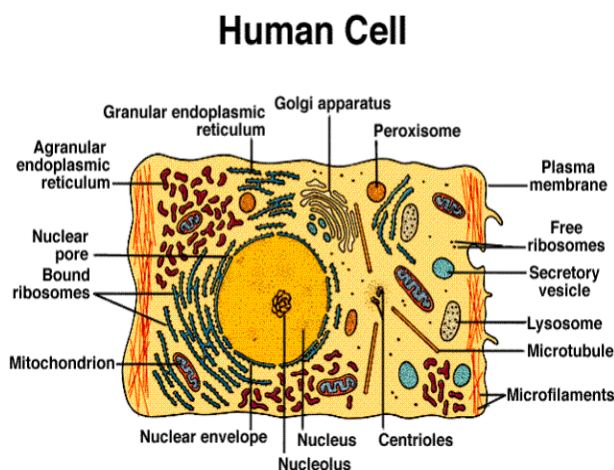


Fig 12

fog.ccsf.cc.ca.us. Cf. Guyton 2006: 22

A ideia de Mayer da transformabilidade da energia mecânica (trabalho) em calor e vice-versa tem paralelo com as teorias actuais da produção do calor animal. A fonte de calor ou energia animal é o ATP ou adenosina trifosfato cuja fonte principal é a cadeia respiratória localizada na mitocôndria.

Não descurando a complexidade de eventos que ocorrem no ciclo de Krebs, podemos aproveitar os elementos que podem ser relevantes para a posterior construção do nosso modelo teórico. Assim, o ciclo de Krebs é uma cadeia de reacções químicas do metabolismo da glucose cujos principais produtos são o dióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ ) e os equivalentes redutores  $\text{FADH}_2$  e  $\text{NADH}$  que são transportadores de electrões.

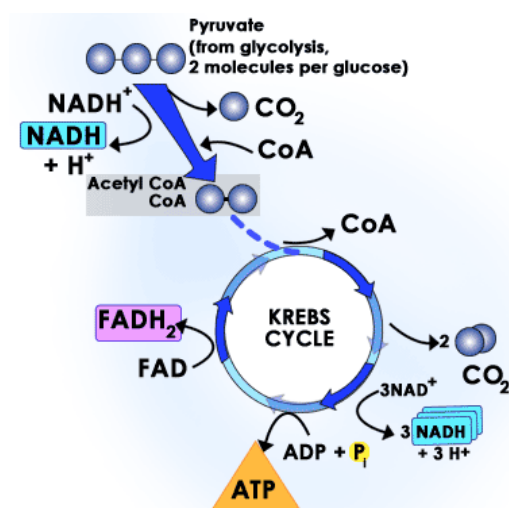


Fig 13

sparknotes.com. Cf. Guyton 2006: 833

No processo químico de metabolização da glucose no ciclo de Krebs, há realização de trabalho com a produção de uma molécula de ATP. O ATP libertado no ciclo de Krebs é

reutilizado num novo ciclo de Krebs. O ATP resulta da ligação de uma molécula de ADP com um fosfato.

Mas podemos dizer que o trabalho se converte em ATP? Na cadeia respiratória há um deslocamento: o  $\text{FADH}_2$  e o  $\text{NADH}$  dão os seus electrões ao longo da cadeia respiratória, que em última análise são recebidos pelo oxigénio molecular ( $\text{O}_2$ ) e o reduzem a água ( $\text{H}_2\text{O}$ ). No processo de transferência electrónica dos electrões ao longo da cadeia respiratória, gera-se um gradiente protónico, com protões a serem bombardeados da matriz mitocondrial para o espaço intermembranar. Quando os electrões regressam de volta à matriz através da sintaxe ATP, há formação de ATP. Ou seja, a formação de ATP resulta deste deslocamento protónico.

Como conciliar o trabalho e o ATP cuja natureza é distinta? A solução consiste em pensar a sua relação em termos de uma equivalência. Tal sustenta a tese de Mayer de uma equivalência entre os fenómenos.

Outro aspecto é a bomba electrogénica de sódio-potássio.

O mecanismo da bomba de sódio-potássio assenta no seguinte. A membrana celular em repouso tem um potencial de repouso negativo de -90 mv no interior da célula.<sup>173</sup> A diferença de potencial entre o interior e o exterior da célula acciona a bomba de sódio-potássio havendo uma permuta de sódio e potássio na membrana celular com entrada de 2 iões de potássio e saída de 3 iões de sódio. Esta maior saída de iões de sódio leva a um potencial de membrana mais negativo no interior da célula, ou seja, o potencial de membrana passa de 86 mv no processo de difusão passiva para 90 mv com o transporte activo da bomba sódio-potássio. Neste momento desencadeia-se o potencial de acção em duas fases. A membrana torna-se muito permeável ao sódio com entrada de iões sódio no interior da célula. O interior da célula torna-se positivo. É a fase de despolarização da membrana. Então os canais de sódio começam a fechar e abrem-se os canais de potássio havendo saída de potássio do interior da célula até um novo potencial de membrana negativo. É a fase de repolarização da membrana. O cálcio troca com o potássio tal como o sódio. Há uma bombagem do sódio para o exterior à custa de gasto de ATP (Guyton 2006, pp. 45-71).

---

<sup>173</sup> “The resting membrane potential of large fibers when not transmitting nerve signals is about -90 millivolts. That is, the potential inside the fiber is 90 millivolts more negative than the potential in the extracellular fluid on the outside of the fiber” (Guyton 2006: 59).

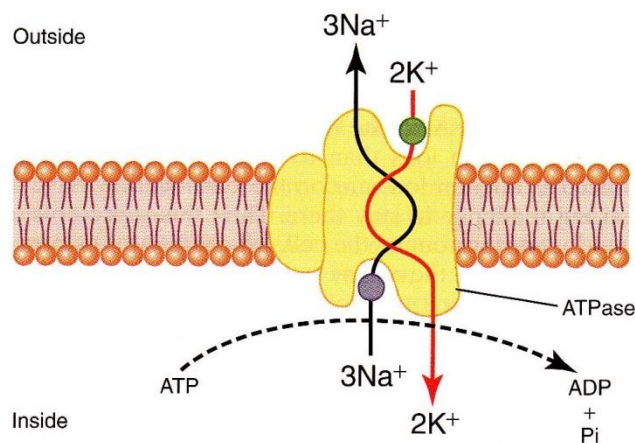


Fig 14

Guyton 2006: 53

Deste modo, o modelo pode ser esquematizado em três níveis integrativos:

1º nível	membranas celulares (bomba sódio-potássio)
2º nível	mitocôndrias (ciclo de Krebs)
3º nível	capilares

Estes três níveis estão em planos diferentes e traduzem uma cadeia de acontecimentos. Nas membranas celulares dão-se as trocas iônicas entre o sódio e o potássio. Há bombagem de sódio para o exterior à custa de gasto de ATP, e há libertação de uma molécula de dióxido de carbono. O dióxido de carbono vai ligar-se a uma molécula de hemoglobina ao nível dos capilares dos tecidos formando a carboxihemoglobina. Esta molécula vai ser transportada pela veia cava para o coração e pulmões onde se dão as trocas gasosas entre o oxigénio do ar inspirado e o dióxido de carbono que é eliminado na expiração. O oxigénio liga-se à

hemoglobina formando a oxihemoglobina que é transportada pela artéria aorta a todo o organismo. Nos capilares dos tecidos, o oxigénio vai entrar num novo ciclo de Krebs.

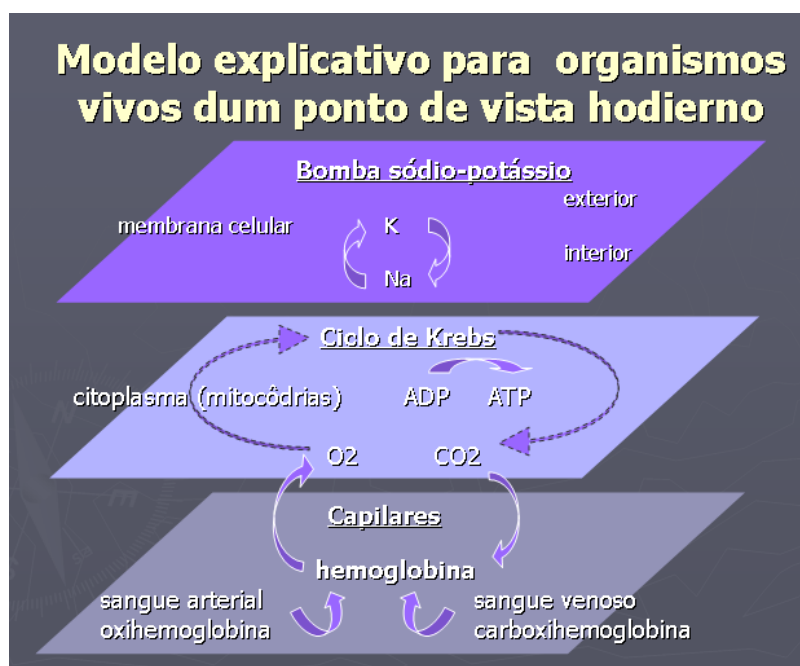


Fig 15

Analisando a teoria de Mayer relativamente à cor mais clara do sangue venoso nos trópicos há que ter em conta dois aspectos, o modelo teórico conceptual e a sua verificação nos fenómenos.

No livro de 45, Mayer faz alusão a uma passagem de Autenrieth no seu *Handbuch der menschlichen Physiologie* de 1801 que diz que também no ser humano a cor do sangue venoso aproxima-se da cor vermelha do sangue arterial no verão.<sup>174</sup> A alusão a esta passagem

<sup>174</sup> "Wir erinnern hier an die Temperatur- und Farbenverhältnisse der kaltblutigen Thiere, der Winterschlafer, des Fetus, der Blausuchtigen, an die helle Rothe des Blutes, die Thackrah beobachtete, als er einem Patienten im

tem como finalidade uma fundamentação da sua teoria da cor mais clara do sangue venoso nos trópicos. Mas aqui há que ter em conta dois aspectos. Por um lado, o cariz teórico desta tese que para se aproximar dos fenómenos seria necessário investigar da sua constância em todos os indivíduos sujeitos às mesmas condições; por outro lado, este modelo teórico é condicionado por uma multiplicidade de factores, particularmente quando há patologia associada como no caso da tripulação de Java. Assim, é legítimo pensar que a tese de Autenrieth assenta num modelo teórico e vejamos porquê. Como foi referido, a cor mais clara do sangue depende do teor de oxigénio ligado à hemoglobina. Teoricamente, quanto menor for a diferença de temperatura entre o organismo e o ambiente menos metabolismo da glucose é requerido para manter a temperatura do corpo. Assim, mais clara é a cor do sangue venoso proveniente dos capilares após o metabolismo da glucose nos tecidos periféricos. Se tivermos em conta os fenómenos do organismo vivo a situação é mais complexa. No organismo vivo interferem diversos factores fisiopatológicos que podem condicionar esta lógica do modelo teórico, particularmente quando há patologia associada como no caso da tripulação de Java. Nesta situação, a hiperoxémia venosa é periférica e resulta quer de um mecanismo compensatório a nível renal quer de uma diminuição da hemoglobina no sangue periférico.

Seguidamente, vamos analisar algumas patologias nos trópicos e ver o condicionamento do modelo teórico às alterações fisiopatológicas.

Quanto ao modelo teórico, a cor mais clara do sangue venoso nos trópicos deve-se: a) a um menor consumo de oxigénio ou oxidação; b) a um elevado teor de oxigénio livre no sangue. Pode verificar-se nas seguintes condições: a) menos aporte de alimentos ou situações patológicas que conduzem a um menor metabolismo da glucose dos alimentos; b) menos diferença de temperatura entre o organismo e o ambiente; c) situações de hiperóxia ou hiperoxémia; d) menos teor de hemoglobina no sangue e mais oxigénio livre no sangue particularmente em situações de anemia.

A sua verificação nos fenómenos do organismo vivo, particularmente quando há patologia associada, é mais complexa, uma vez que o organismo é um sistema multifactorial de mecanismos fisiopatológicos assente numa base físico-química.

Para que o sangue venoso seja mais claro há que atender aos seguintes casos: a) o nível em que se realiza a flebotomia; b) situações fisiológicas e patológicas de menor

---

warmen Bade zur Ader liess, endlich an die Farbenverschiedenheit des venosen Blutes in den verschiedenen Jahreszeiten, wie sie seit Autenrieth bekannt ist" (Mayer 1845: 86).



metabolismo da glucose; c) situações fisiológicas e patológicas de hiperóxia ou hiperoxémia; d) situações patológicas nos trópicos.

O raciocínio é o seguinte. O sangue venoso contendo dióxido de carbono ligado à hemoglobina sob a forma de carboxihemoglobina provém dos capilares dos tecidos após o metabolismo da glucose nas células e é transportado até à aurícula direita, ao ventrículo direito e pela artéria pulmonar aos pulmões. Nos pulmões, há a troca de dióxido de carbono com o oxigénio do ar inspirado ao nível dos alvéolos pulmonares.

Relativamente ao nível da flebotomia há a considerar. O metabolismo celular não é igual em todas as células e órgãos. Há uma selecção celular dos nutrientes de acordo com as necessidades das células. Assim, o nível a que se realiza a flebotomia é importante uma vez que há níveis ou zonas do organismo em que há menos ou mais metabolismo da glucose.

Vamos analisar algumas patologias nos trópicos que cursam com hiperoxémia venosa.

No caso da teoria de Mayer, ele diz que a tripulação sofria de uma patologia pulmonar à chegada. Há que analisar as patologias pulmonares nos trópicos que cursam com hiperoxémia venosa. Aqui temos que distinguir sangue arterial e venoso. As patologias pulmonares com hiperóxia ou hiperoxémia pulmonar são alterações na troca gasosa ao nível dos alvéolos pulmonares ou alterações ao nível da difusão alveolo-capilar. E o teor mais elevado de oxigénio da oxihemoglobina está nas veias pulmonares que saem dos pulmões e não na artéria pulmonar que chega aos pulmões proveniente de todo o organismo.

Mas o organismo é um todo e para que exista uma situação de hiperoxémia venosa é necessário que exista diminuição do metabolismo da glucose a nível das células do organismo ou elevado teor em oxigénio livre no sangue. Ou seja, a hiperoxémia venosa é periférica e resulta quer de um mecanismo compensatório do equilíbrio ácido-base a nível renal no primeiro caso quer de uma diminuição da hemoglobina no segundo caso.

Vamos analisar algumas patologias:

a) Em situações de má absorção intestinal como no sprue tropical, a doença cursa com alterações fisiopatológicas como a diarreia que acarreta um desequilíbrio ácido-base e a anemia megaloblástica por déficite de absorção do folato e da cobalamina (Braunwald 2001, pp. 1675-7). A alteração iónica na diarreia acarreta um desequilíbrio entre o teor de hidrogénio e bicarbonato e a uma alteração do pH com um quadro de acidose metabólica. Vamos ver como o organismo reage a estas alterações fisiopatológicas.

O mecanismo da acidose e alcalose metabólicas é compensado pelo rins. Um aumento do hidrogénio na acidose metabólica diminui a actividade da bomba de sódio-potássio com menos entrada de iões potássio na célula e menos saída de iões sódio com mais concentração de potássio no espaço extracelular<sup>175</sup> resultando um potencial de membrana menos negativo para desencadear o potencial de acção. A acidose retarda a bomba de sódio-potássio e a produção de ATP assim como o potencial de acção. Há menos oxidação e menos produção de dióxido de carbono.

Na acidose metabólica, o excesso de produção de hidrogénio é compensado por uma maior eliminação deste pelos rins e entrada de bicarbonato com alcalose. A diarreia provoca um desequilíbrio ácido-base com acidose metabólica e diminuição da  $PCO_2$  a nível celular e do sangue venoso. O organismo reage à acidose metabólica com uma hiperventilação acarretando uma alcalose respiratória e diminuição da  $PCO_2$ . Há uma menor concentração de dióxido de carbono no sangue venoso que sai dos tecidos e mais claro é o sangue venoso. Também o déficite em folato e cobalamina pode originar um quadro de anemia com diminuição da hemoglobina e maior teor de oxigénio livre no sangue. É o que acontece por exemplo no sprue tropical. Assim, a hiperoxémia venosa é periférica e resulta quer de um mecanismo compensatório do equilíbrio ácido-base a nível renal quer de uma diminuição da hemoglobina com elevado teor de oxigénio livre no sangue.

b) Analizemos outra situação com hiperoxémia venosa e patologia pulmonar.

A anemia falciforme que ocorre nos trópicos com alterações a nível pulmonar. A anemia das células falciformes ou drepanocitose ocorre por uma mutação no gene da  $\beta$ -globina originando uma hemoglobina anormal, a HbS, e eritrocitos anómalos, as células falciformes. Neste tipo de anemia há hemólise dos eritrocitos prematuros que são destruídos no baço e microenfartes isquémicos no baço, sistema nervoso central, ossos, fígado, rins e pulmões (Braunwald 2001, p. 669). Os enfartes pulmonares originam um quadro de acidose respiratória com aumento da  $PCO_2$ . A nível renal há um quadro de acidose metabólica com diminuição da  $PCO_2$  ao nível celular, capilar e do sangue venoso. O organismo reage à acidose metabólica com uma hiperventilação e alcalose respiratória com diminuição da  $PCO_2$ . Mais uma vez a hiperoxémia venosa é periférica.

---

<sup>175</sup> “(...) one effect of increased hydrogen ion concentration is to reduce the activity of the sodium-potassium adenosine triphosphatase (ATPase) pump. This in turn decreases cellular uptake of potassium and raises extracellular potassium concentration” (Guyton 2006: 366).

Desta análise podemos verificar que uma situação de hiperoxémia venosa por menor consumo da glucose é uma situação periférica. Podemos verificar nos fenómenos. No exemplo da anemia das células falciformes, a hiperoxémia venosa é devida a uma compensação do equilíbrio ácido-base a nível renal.

Também no caso da tripulação de Java havia uma patologia pulmonar com uma infecção respiratória de tipo bronquite (com catarro). A bronquite cursa com acidose respiratória com elevação da  $PCO_2$ . A hiperoxémia venosa resulta de um mecanismo compensatório a nível renal. Também pode existir um síndrome gripal endémico com bronquite. A gripe origina um quadro geral de astenia e pode estar associada a situação de déficite alimentar por anorexia que pode originar uma anemia por carência alimentar. E na anemia há diminuição da hemoglobina com maior teor de oxigénio livre no sangue.

Estão assim reunidas duas causas de hiperoxémia venosa: a) menor metabolismo da glucose nos tecidos periféricos com menos produção de dióxido de carbono; b) menos hemoglobina e mais teor de oxigénio livre no sangue. Mais uma vez a hiperoxémia venosa é periférica.

Para verificarmos da aproximação do modelo teórico aos fenómenos do organismo seria necessário investigar todas as situações fisiológicas e patológicas de hiperoxémia venosa. Poderíamos começar por investigar a cor do sangue venoso no verão em indivíduos saudáveis mas nunca podemos descurar a variabilidade individual pela forma idiossincrática de interagir com os diversos factores exteriores. E, como vimos, na tripulação de Java havia um quadro sistémico de gripe com infecção respiratória. Logo, é necessário ter em conta as situações fisiopatológicas que conduzem a uma alteração fisiopatológica no organismo condicionando o modelo teórico.

## II.2. O conceito de força

A força é o conceito principal na teoria de Mayer. Este conceito deu origem ao conceito de energia.

Segundo o artigo de 42, a força permanece constante em todos os fenómenos físicos e químicos.<sup>176</sup> O elemento originante dos fenómenos e o consequente são forças e a passagem de um a outro é transformação.

No artigo de 42, Mayer estabelece pois o princípio da conservação da energia. A base do raciocínio é a seguinte. Para se conseguir algo, algo tem que ser realizado, ou a causa é igual ao efeito. Mayer enfatiza como um princípio filosófico a ideia de que alguma coisa se deve conservar na natureza. Ele justifica essa ideia a partir dos princípios metafísicos de “que nada vem do nada” (1845) e “a causa é igual ao efeito”.

Mayer pretende saber o que se entende por força e que relações existem entre os diferentes tipos de força.<sup>177</sup> Ele começa por dizer que “forças são causas” mas esta afirmação apenas serve para aplicar às forças uma proposição supostamente válida para as causas, “a causa é igual ao efeito”.<sup>178</sup> As forças são causas e a causa é igual ao efeito. Assim, a força da causa é igual à força do efeito.

Mayer atribui três propriedades às forças, duas essenciais, a indestrutibilidade e transformabilidade, e uma terceira, a imponderabilidade.

Simbolizando a causa por  $c$  e o efeito por  $e$ , ele escreve  $c=e$  e se  $e$  for causa de um efeito  $f$ , então  $e=f$ . Então uma sequência de causas e efeitos será dada por  $c=e=f=c$ .<sup>179</sup>

---

<sup>176</sup> “Fassen wir das Resultat bisheriger Untersuchungen in einem allgemeinen Satze zusammen, so erhalten wir wieder das Eingangs aufgestellte Axiom. Es heisst: Bei allen physikalischen und chemischen Vorgängen bleibt die gegebene Kraft eine constante Grösse“ (Mayer 1842:32).

<sup>177</sup> “Der Zweck folgender Zeile ist, die Beantwortung der Frage zu versuchen, was wir unter "Kräften" zu verstehen haben, und wie sich solche untereinander verhalten" (Mayer 1842:233).

<sup>178</sup> “Kräfte sind Ursachen, mithin findet auf dieselbe volle Anwendung der Grundsatz: causa aequat effectum” (Mayer 1842:233).

<sup>179</sup> “Hat die Ursache  $c$  die Wirkung  $e$ , so ist  $c=e$ ; ist  $e$  wieder die Ursache einer andern Wirkung  $f$ , so ist  $e=f$ , u.s.f.  $c=e=f \dots =c$ ” (Mayer 1842:233).

A sequência anterior só é válida se todos os termos têm o mesmo valor donde a quantidade inicial mantêm-se e conclui-se que a força é indestrutível.<sup>180</sup>

As forças têm a capacidade de adquirir várias formas. Na equação  $c=e$ , onde se existe  $e$  não pode existir  $c$  nem uma qualquer parte de  $c$  e logo  $c$  transformou-se em  $e$ .<sup>181</sup>

No caso da imponderabilidade a justificação assenta no seguinte. Na natureza existem dois tipos de causas, as matérias e as forças. As primeiras são caracterizadas pela ponderabilidade e impenetrabilidade enquanto as segundas pelo contrário, imponderabilidade e penetrabilidade.<sup>182</sup>

As forças são assim quantitativamente indestrutíveis e qualitativamente transformáveis e imponderáveis.<sup>183</sup>

No seu livro de 51, ele discute o uso do termo de força. A questão centra-se em usar o termo para a força morta de Newton ou para a força viva de Leibniz. Mayer defende que o termo seja usado para algo que se gasta quando produz efeito.<sup>184</sup> Ele diz que não está em questão o que é a força mas sim o que designamos por força<sup>185</sup> pois não conhecemos as causas reais dos fenómenos, temos sim resultados de experiências.<sup>186</sup>

---

<sup>180</sup> "In einer Kette von Ursachen und Wirkungen kann, wie aus der Natur einer Gleichung erhellt, nie ein Glied oder ein Theil eines Gliedes zu Null werden. Diese erste Eigenschaft aller Ursachen nennen wir ihre Unzerstörlichkeit" (Mayer 1842:233).

<sup>181</sup> "Hat die gegebene Ursache  $c$  eine ihr gleiche Wirkung  $e$  hervorgebracht, so hat eben damit  $c$  zu seyn aufgehört;  $c$  ist zu  $e$  geworden; wäre nach der Hervorbringung von  $e$ ,  $c$  ganz oder einem Theile nach noch übrig, so müßte dieser rückbleibenden Ursache noch weitere Wirkung entsprechen, die Wirkung von  $c$  überhaupt also  $e$  ausfallen, was gegen die Voraussetzung  $c=e$ . Da mithin  $c$  in  $e$ ,  $e$  in  $f$  u.s.w. übergeht, so müssen wir diese Größen als verschiedene Erscheinungsformen eines und desselben Objectes betrachten. Die Fähigkeit, verschiedene Formen annehmen zu können, ist die zweite wesentliche Eigenschaft aller Ursachen" (Mayer 1842:234).

<sup>182</sup> "Zwei Abtheilungen von Ursachen finden sich in der Natur vor, zwischen denen erfahrungsmäßig keine Uebergänge stattfinden. Die eine Abtheilung bilden die Ursachen, denen die Eigenschaft der Ponderabilität und Impenetrabilität zukommt, - Materien; die andere die Ursachen, denen letztere Eigenschaften fehlen, - Kräfte" (Mayer 1842:234).

<sup>183</sup> "Kräfte sind also: unzerstörliche, wandelbare, imponderable Objecte" (Mayer 1842:234).

<sup>184</sup> "Den Denkgesetzen, wie dem allgemeinen Sprachgebrauche ist es angemessen, die Entstehung jeder Bewegung mit einem Kraft-Aufwande in Verbindung zu bringen. Hienach ist "Kraft": Etwas, das bei der Erzeugung der Bewegung aufgewendet wird, und dieses Aufgewendete ist als Ursache der Wirkung, der hervorgebrachten Bewegung, gleich" (Mayer 1851:30).

<sup>185</sup> "Formelle Controversen ohne materielle Basis schweben in der Luft, und was insbesondere die Kräftefrage anbelangt, so handelt es sich ja zunächst nicht darum, was eine "Kraft" für ein Ding ist, sondern darum, welches Ding wir "Kraft" nennen wollen" (Mayer 1851:35).

<sup>186</sup> "Man wende mir nicht ein, die Druck"kraft", Schwer"kraft", Cohäsions"kraft" etc. sey die höhere Ursache des Drucks, der Schwere u. s. w. In den exacten Wissenschaften hat man es mit den Erscheinungen selbst, mit

No livro de 1845, Mayer considera diversos fenómenos para estabelecer as suas analogias e equivalências: choque elástico, levantamento e queda de graves, experiências de Gay-Lussac e aquecimento do ar atmosférico a volume e pressão constante, experiências com o electróforo, transformação da luz solar em “diferença química” pelas plantas, transformação de “força química” em calor pelos animais. Há outros fenómenos que são apenas referidos com os das 25 experiências para provar as “metamorfoses” entre as cinco formas principais de força: força de queda, movimento, calor, electricidade e magnetismo, separação e ligação química.<sup>187</sup> Embora aqui surja o termo metamorfose, transformação é o termo geralmente usado. Todavia, os termos surgem como sinónimos.<sup>188</sup>

No livro de 1845, Mayer parte do princípio metafísico que nada vem do nada e que nada se torna em nada.<sup>189</sup> Tal como no artigo de 42, a causa é uma força assim como o efeito. As forças são causas e nada existe em movimento sem a acção de uma força. A novidade está na sua tese de que existe uma única força que é quantitativamente imutável e qualitativamente transformável, que perspassa o orgânico e o inorgânico.<sup>190</sup>

Mayer pretende provar as transformações das forças umas nas outras.

Passemos a considerar a relação do conceito de força com os fenómenos.

---

messbaren Grössen, zu thun: der Urgrund der Dinge aber ist ein dem Menschenverstande ewig unerforschliches Wesen" (Mayer 1851:37).

<sup>187</sup> "An die Aufstellung von fünf Hauptformen der physischen Kraft reiht sich die Aufgabe, die Metamorphosen dieser Formen durch fünfundzwanzig Experimente zu beweisen" (Mayer 1845:34).

<sup>188</sup> Quando por exemplo são referidas as 25 experiências para as cinco formas principais de forças, as experiências são apresentadas como metamorfoses (Metamorphosen) e na especificação aparece transformação (Umwandlung, Verwandlung), (Cf. Coelho 2006:34-5).

<sup>189</sup> "Es entsteht keine Wirkung ohne Ursache; keine Ursache vergeht ohne entsprechende Wirkung Ex nihilo nil fit. Nil fit ad nihilum" (Mayer 1845:5).

<sup>190</sup> "A priori lässt sich beweisen und durch die Erfahrung überall bestätigen, dass die verschiedenen Kräfte ineinander sich verwandeln lassen. Es giebt in Wahrheit nur eine einzige Kraft. In ewigem Wechsel kreist dieselbe in der todten wie in der lebenden Natur. Dort und hier kein Vorgang ohne Formveränderung der Kraft!" (Mayer 1845:6).

## II.2.1. Movimento

No caso da transformação do movimento em movimento ele diz que, quando uma massa choca frontal e elasticamente com outra em repouso, a última é posta em movimento enquanto a primeira perde algum movimento. Se numa mesa de bilhar uma bola branca colide com uma vermelha, a branca perde a sua velocidade e a vermelha move-se com o movimento que a branca perdeu.<sup>191</sup> É o movimento da branca que acarreta o movimento da vermelha ou que se transforma no movimento da vermelha. O movimento da bola branca é uma força. O movimento da bola vermelha é um efeito que é igual à causa<sup>192</sup>, uma força. Assim, houve transformação de movimento em movimento mas a quantidade de força manteve-se. A razão disto é a causa igual ao efeito. Neste caso, a colisão elástica transforma um movimento em outro movimento mas a quantidade permanece constante antes e depois da colisão. A magnitude da *vis viva* ou modernamente energia cinética de todo o sistema permanece a mesma antes e depois da colisão.<sup>193</sup> Mayer subsume a conservação da *vis viva* do choque elástico.<sup>194</sup>

---

<sup>191</sup> “Stösst der weisse Ball den Rothen central an, so verliert der Weisse seine Bewegung, und der Rothe geht mit dessen Geschwindigkeit fort” (Mayer 1845:7).

<sup>192</sup> “Die Bewegung des Weissen ist eine Kraft. Die Bewegung des Rothen ist als Wirkung ihrer Ursache gleich; sie ist ebenfalls eine Kraft” (Mayer 1845:7).

<sup>193</sup> “Eine Billard-Kugel kann durch einen Stoss viele andere Kugeln, gross und klein, fortbewegen, und dabei selbst noch in Bewegung bleiben. Die *Grösse* der Kraft aber, oder die sogenannte „lebendige Kraft der Bewegung“ ist vor und nach dem Stosse constant geblieben“ (Mayer 1845: 7)

<sup>194</sup> “Die *Grösse* der Kraft aber, oder die sogenannte "lebendige Kraft der Bewegung" ist vor und nach dem Stosse constant geblieben" (Mayer 1845:7).

## II.2.2. Força de queda

Outro fenómeno é o da transformação da força de queda em movimento. Para Mayer, um corpo para cair necessita de uma altura. Se uma massa em repouso a uma dada distância do solo é deixada cair, a força de queda transforma-se em movimento. O levantamento da massa é a causa e o movimento de queda é o efeito.<sup>195</sup> A causa é igual ao efeito e são forças. A força de queda e o movimento são forças que se transformam uma na outra, são duas formas de manifestações dum mesmo objecto.<sup>196</sup>

Na época, o peso era considerado uma força e a causa da queda do corpo. Mayer contra-argumenta dizendo que o levantamento do corpo é tão necessário à queda quanto o peso e que considerar o peso uma força contraria as características da força, a indestrutibilidade e transformabilidade, porque o peso não diminui com a queda.<sup>197</sup> Logo, o peso não é a causa da queda.<sup>198</sup> O peso é uma propriedade<sup>199</sup> e a força de queda é a diferença espacial de objectos ponderáveis.<sup>200</sup> Mayer acrescenta que o peso não pode cair sem uma altura e diz que a força de queda é o produto do peso pela altura. Também segundo o princípio

---

<sup>195</sup> "Hält man sich statt an herkömmliche Voraussetzungen nur an die einfache reine Thatsache, so wird man leicht gewahr, daß die Erhebung des Gewichtes die Ursache ist von der Bewegung desselben (...) aufgewendet wurde die Erhebung, erzeugt wurde die Bewegung der Last" (Mayer 1845:7-8).

<sup>196</sup> "Fallkraft und Fall, und allgemeiner noch Fallkraft und Bewegung sind Kräfte, die sich verhalten wie Ursache und Wirkung, Kräfte, die in einander übergehen, zwei verschiedene Erscheinungsformen eines und desselben Objectes" (Mayer 1845:235).

<sup>197</sup> "gerade das, was jeder Kraft wesentlich zukommen muß, die Vereinigung von Unzerstörlichkeit und Wandelbarkeit, geht jedweder Eigenschaft ab (...) Heißt man die Schwere eine Kraft, so denkt man sich damit eine Ursache, welche, ohne selbst abzunehmen, Wirkung hervorbringt, hegt damit also unrichtige Vorstellungen über den ursächlichen Zusammenhang der Dinge" (Mayer 1845:235-6).

<sup>198</sup> "Um daß ein Körper fallen könne, dazu ist seine Erhebung nicht minder notwendig, als seine Schwere, man darf daher auch letzterer allein den Fall der Körper nicht zuschreiben" (Mayer 1845: 236).

<sup>199</sup> "Indem man die Schwere als Ursache des Falls betrachtet, spricht man von einer Schwerkraft und verwirrt so die Begriffe von Kraft und Eigenschaft (...) zwischen einer Eigenschaft und einer Kraft, zwischen Schwere und Bewegung läßt sich deßhalb auch nicht die für ein richtig gedachtes Causalverhältniß (...)" (Mayer 1842: 235-6).

<sup>200</sup> "räumliche Differenz ponderabler Objecte ist eine Kraft; da diese Kraft den Fall der Körper bewirkt, so nennen wir sie Fallkraft" (Mayer 1845:235).



de conservação de Leibniz (1686), a altura é igual ao quadrado da velocidade. Admitindo que a causa é igual ao efeito então  $mh=mv^2$ .<sup>201</sup>

A força de queda que é a causa é dada pelo produto do peso e altura e a força de movimento que é o efeito é dada pelo produto da massa pelo quadrado da velocidade.<sup>202</sup> Como a força de queda é igual à massa vezes a altura e a altura é igual ao quadrado da velocidade, então a força de queda é igual à massa vezes o quadrado da velocidade. Na sua teoria a força é indestrutível, logo a massa e o quadrado da velocidade que correspondem à *vis viva* são conservadas. Assim, é subsumido pela sua teoria o que na mecânica se designa pelo princípio da conservação da *vis viva*<sup>203</sup> pela forma  $mh=mv^2$ .<sup>204</sup>

Mayer fala em força de queda e movimento como sendo forças relacionadas como causa e efeito e que se podem transformar uma na outra. Elas são manifestações de uma mesma entidade.

---

<sup>201</sup> A noção de massa de um corpo surge com Newton como o produto do seu volume pela densidade da substância que o constitui. Mas este conceito tornou-se vicioso porque a densidade depende da massa. O conceito de massa como uma propriedade do corpo no seu estado de inércia, massa inercial, apesar de ter sido explicado por Newton foi definido operacionalmente por Leonhard Euler como o quociente da força (F) que actua no corpo pela aceleração resultante (a):  $m=F/a$ . A massa inercial é diferente da massa gravitacional. O peso é a relação da massa com a gravidade. Com o advento da teoria da relatividade de Einstein, a massa inercial de um corpo varia com a sua velocidade relativa a um referencial de um observador particular. Estas variações da massa inercial estão directamente relacionadas com alterações na energia cinética do corpo em movimento. Com a física das partículas, tornou-se necessário associar massa inercial com partículas, os neutrinos, que têm energia cinética mas têm uma carga eléctrica zero e provavelmente uma massa de repouso zero, ou seja, massa inercial zero quando têm uma velocidade zero relativa a nós.

<sup>202</sup> "Die Grösse der Fallkraft wird gemessen: durch das Produkt aus dem Gewicht in seine Höhe; die Grösse der Bewegung: durch das Produkt aus der bewegten Masse in das Quadrat ihrer Geschwindigkeit" (Mayer 1845:8).

<sup>203</sup> "(...) so bleibt die gegebene Kraft oder der mechanische Effekt eine constante Grösse. Dieses Gesetz, eine specielle Anwendung des Axioms der Unzerstörlichkeit der Kraft, wird in der Mechanik unter dem Namen "Princip der Erhaltung lebendiger Kräfte" aufgeführt" (Mayer 1845:9).

<sup>204</sup> Foi Gottfried Leibniz (1646-1716) que designou  $mv^2$  por *vis viva* em 1686 para distingui-la da *vis mortua* ou força estática do equilíbrio. Mais tarde, em 1695, manteve que os corpos em movimento tinham *vis viva* enquanto que os corpos em repouso tinham *potentia* (Cf. Hecht 2003: 487).

### II.2.3. Calor

No artigo de 1842, Mayer enuncia uma experiência que teria levado a cabo: uma forte agitação da água contida num recipiente, teria elevado a temperatura da água da ordem dos 12 a 13 graus centígrados.<sup>205</sup> Em função desta experiência e de "muitos" outros casos, onde se vê desaparecer movimento e surgir calor, são referidas observações do quotidiano ou facilmente acessíveis, Mayer prefere admitir que o calor provenha do movimento, a admitir que exista uma causa sem efeito ou um efeito sem causa.<sup>206</sup> As máquinas-a-vapor forneceriam um exemplo da transformação inversa, de calor em movimento.<sup>207</sup> Uma vez admitida uma relação causa-efeito para movimento e calor, Mayer passa à determinação numérica da relação, a qual tem a seguinte base experimental.

Suponha-se uma dada quantidade de ar atmosférico contido num recipiente, que dispõe dum êmbolo móvel na parte superior, mas que também pode ser fixado. Se se aquecer o gás com o êmbolo móvel, haverá aumento de volume, mas a pressão será a inicial; se o êmbolo não move, o volume não varia, mas a pressão aumenta. Sabia-se na época, que o calor necessário para aumentar dum grau a temperatura dum centímetro cúbico de ar atmosférico quando o ar movia o êmbolo, era superior ao calor necessário para elevar da mesma temperatura a mesma quantidade de ar com o êmbolo fixo. Como no primeiro caso há movimento, o gás moveu o êmbolo, e no segundo não há, mas no primeiro foi necessário mais calor do que no segundo, Mayer relaciona o excesso de calor com o movimento realizado pelo gás. Usando os valores experimentais disponíveis, para o calor empregue num caso e noutro e para o movimento realizado pelo gás, Mayer chega ao resultado, que expressa em função do

---

<sup>205</sup> "Wasser erfährt, wie der Verfasser fand, durch starkes Schütteln eine Temperaturerhöhung. Das erwärmte Wasser (von 12° und 13°C.) (...)" (Mayer 1842: 238).

<sup>206</sup> "Ist es nun ausgemacht, daß für die verschwindende Bewegung in vielen Fällen (exception confirmat regulam) keine andere Wirkung gefunden werden kann, als die Wärme, für die entstandene Wärme keine andere Ursache als die Bewegung, so ziehen wir die Annahme, Wärme entsteht aus Bewegung, der Annahme einer Ursache ohne Wirkung und einer Wirkung ohne Ursache vor" (Mayer 1842: 238).

<sup>207</sup> "umgekehrt dienen wieder die Dampfmaschinen zur Zerlegung der Wärme in Bewegung oder Lasterhebung. Die Locomotive mit ihrem Convoi ist einem Destillirapparate zu vergleichen; die unter dem Kessel angebrachte Wärme geht in Bewegung über" (Mayer 1842: 239).

calor específico da água: o aquecimento duma dada quantidade de água de 1 grau centígrado, mais exactamente de 0° a 1°C, corresponde à queda dum corpo de igual massa da altura de 365 metros.<sup>208</sup>(cf. Coelho 2006, p. 13).

Mayer usa o comboio a vapor para exemplificar a transformação de calor em efeito mecânico. A explicação é a seguinte. O calor que se transforma em efeito mecânico é o resultante da diferença entre o calor absorvido pelo vapor e o libertado na condensação.<sup>209</sup>

Para fundamentar este facto, Mayer recorre a resultados de experiências com gases. A experiência de Gay-Lussac provou por um lado que a expansão de um gás de um volume no qual esteja comprimido para um recipiente em vácuo não é acompanhada de variação da temperatura global, ou seja, o aumento de temperatura que o gás provoca num recipiente é equivalente ao arrefecimento que se verifica no outro. Não há consumo de calor. Por outro lado, a experiência confirma que quando um gás se expande contra a pressão, há produção de um efeito mecânico e consumo de calor.

O que vem a seguir consiste no aquecimento dum gás a volume constante e a pressão constante. No primeiro caso o calor fornecido tem como consequência o aumento de temperatura. No segundo, conduz a aumento de temperatura e movimento. Daqui vem  $x$  e  $x+y$ .

No primeiro caso, o calor é  $x$  e no segundo caso é  $x + y$ , em que  $y$  é o calor consumido. No primeiro caso não houve produção de efeito mecânico ou trabalho. No segundo caso houve produção de efeito mecânico ou trabalho. Como num caso houve variação de volume e noutro não e as quantidades de calor empregues para o mesmo aumento

---

<sup>208</sup> "Unter Anwendung der aufgestellten Sätze auf die Wärme- und Volumensverhältnisse der Gasarten findet man die Senkung einer ein Gas comprimirenden Quecksilbersäule gleich der durch die Compression entbundenen Wärmemenge und es ergibt sich hieraus, - den Verhältnißexponenten der Capacitäten der atmosphärischen Luft unter gleichem Drucke und unter gleichem Volumen=1,421 gesetzt, - daß dem Herabsinken eines Gewichtstheiles Wasser von 0° auf 1° entspreche" (Mayer 1842: 240).

<sup>209</sup> "Die in den Locomotiven wirksame Kraft ist die Wärme. Der Aufwand von Wärme, oder die Verwandlung der Wärme in Bewegung nun beruht darauf, dass die Wärmemenge, welche von den Dämpfen aufgenommen wird, fortwährend grösser ist, als die, welche von den Dämpfen bei ihrer Verdichtung an die Umgebung wieder abgesetzt wird. Die Differenz giebt die nutzbar verwendete, oder die in mechanischen Effekt verwandelte, Wärme" (Mayer 1845:10-11).

de temperatura são num caso  $x$  e no outro  $x + y$ , Mayer relaciona a diferença entre os calores empregues em ambos os casos,  $y$ , com o efeito mecânico produzido.<sup>210</sup>

Mayer fala na transformação do calor em trabalho e do trabalho em calor. Mayer refere no artigo “Sur la production de la lumière et de la chaleur du soleil” que o calor transforma-se em efeito mecânico e vice-versa havendo uma equivalência entre ambos.<sup>211</sup> Ele diz que o calor torna-se efeito mecânico ou força viva e vice-versa, porque é impossível que, por um lado, o efeito mecânico ou força viva resultante da dilatação de um gás seja produzido por nada; por outro, o calor absorvido se reduza a nada.<sup>212</sup>

Numa carta de Mayer de 1848, “Sur la transformation de la force vive en chaleur, et réciproquement”, Mayer dá conta da equivalência entre o trabalho mecânico e o calor que tinha obtido em 1845. Ele tinha determinado esta equivalência: 1 unidade de calor = 367 Kg.m.<sup>213</sup> O equivalente mecânico do calor é dado na forma: o calor necessário para aumentar dum grau um grama de água é equivalente a um grama de água à altura de 367m.

Mayer diz que o calor é transformado em actividade mecânica (trabalho) e que o calor é transformado em movimento. Quantidades iguais de combustível sob as mesmas condições dão quantidades iguais de calor.

No livro de 48, Mayer fala da origem do calor solar. A obra está dividida em nove partes: a origem do calor solar constitui a temática principal; as três últimas partes são dedicadas a temas relacionados- manchas solares, marés e calor interno da Terra. Ele vai analisar a origem do calor solar por exclusão de hipóteses de via química e mecânica.<sup>214</sup>

---

<sup>210</sup> “Bei der Vergleichung dieser Vorgänge sehen wir in beiden die Luft von 0 auf 274° sich erwärmen und zugleich von einem Volumen auf zwei Volumina sich ausbreiten; im ersten Falle war die erforderliche Wärmemenge =  $x$ , im zweiten =  $x+y$ ; im ersten Falle war der gelieferte mechanische Effekt = 0, im zweiten = 15 (Pfund) (...) und 1" Höhe, die Wärmemenge =  $x+y$  zurückgeben" (Mayer 1845:12).

<sup>211</sup> “ Il est évident qu'un effet mécanique une fois donné ne saurait non plus se réduire en rien. Le résultat de la chaleur absorbée est l'effet mécanique, et dans la même proportion le résultat de l'effet mécanique qui se consomme, est la chaleur (ou un objet équivalent, comme la lumière, l'électricité etc.) “ (Mayer 1978 : 160).

“ Il est impossible que l'effet mécanique (or la force vive) résultant de la dilatation du gaz soit produit par rien, car nil fit ex nihilo. La chaleur absorbée ne saurait se réduire en rien, car nil fit ad nihilum. Or je résume ces deux axiomes de logique, et je dis : La chaleur devient effet mécanique, etc, etc “ (Mayer 1848 b : 385).

<sup>213</sup> “C'est d'après cela que j'ai calculé le nombre d'équivalents de la chaleur, et je l'ai trouvé égal à 367 (c'est à dire 1 calorie = 367 kilogrammètres (...))“. (Mayer 1848 b: 385).

<sup>214</sup> “Als allgemeines Naturgesetz, von dem keine Ausnahme statt findet, gilt der Satz: dass zur Erzeugung von Wärme ein gewisser Aufwand erforderlich ist. Dieser Aufwand, so verschiedenartig er sonst seyn mag, lässt sich immer auf zwei Hauptkategorien zurückführen; es besteht derselbe nemlich entweder in einem chemischen Material oder in einer mechanischen Arbeit" (Mayer 1848 a:3).

A ser por via química, como o sol era imaginado como um grande montão de hulha, o astro não poderia emitir mais do que 46 séculos.<sup>215</sup> Excluída a hipótese, Mayer passa à via mecânica, considerando três variantes: fricção, força viva e choque. O calor não pode resultar da fricção, pois Saturno roda mais rapidamente e não emite um tal calor.<sup>216</sup> Também não pode provir da força viva de rotação do sol, pois ela não cobriria senão 183 anos do dispêndio de calor.<sup>217</sup> Finalmente surge a tese explicativa: a queda de massas atraídas pelo Sol está na origem do calor.<sup>218</sup>

No artigo “Sur la production de la lumière e de la chaleur du soleil”, Mayer diz que o espaço do nosso sistema solar está preenchido por uma quantidade imensa de massas compactas, os asteroides, comparáveis a corpos muito mais pequenos, os átomos. Estes asteroides estão ou isolados e não se vêem ou agrupados em número infinito, sendo visíveis, caso as circunstâncias sejam favoráveis, sob a forma de nuvens de poeira ou nebulosas. Todos estes corpos estão em torno do centro de gravidade do nosso sistema planetário mas na sua órbita eles encontram sempre qualquer resistência e esta resistência por mais pequena que seja faz com que ela não seja absolutamente elíptica mas espiral. O número destes asteroides deve aumentar com a aproximação ao Sol.<sup>219</sup> O calor produzido pela queda de um corpo deve

---

<sup>215</sup> “Liegt dieser Wiederersatz in einem chemischen Prozesse? Nehmen wir, um dieser Vermuthung so viel nur möglich einzuräumen, die ganze Sonnenmasse für einen Klumpen Steinkohlen, wovon jedes Kilogramm 6000 Wärmeeinheiten durch Verbrennung liefert, so wäre die Sonne nicht weiter als 46 Jahrhunderte lang im Stande durch ihren Brand den genannten Wärmeaufwand zu bestreiten” (Mayer 1848: 8).

<sup>216</sup> “Es wurde die Vermuthung ausgesprochen, die Axendrehung der Sonne könnte das ursächliche Moment von ihrem Strahlen seyn (...) Einen raschen Umschwung für sich allein, ohne Reibung, ohne Widerstand, kann man sich nicht als die Ursache einer Licht- und Wärmeentwicklung denken, zumal da die Sonne sich keineswegs durch ihre Umdrehungsgeschwindigkeit vor den übrigen Körpern des Planetensystems auszeichnet (...) Der äussere Ring des Saturns übertrifft den Sonnenäquator in seiner Rotations-Geschwindigkeit um mehr als das zehnfache. Nichts destoweniger wird aber weder an der Erde, noch am Jupiter, noch am Saturnusring eine Lichtund Wärmeerzeugung wahrgenommen” (Mayer 1848: 8-9).

<sup>217</sup> “(...) so geht aus dem bisherigen hervor, dass der ganze Rotations-Effect der Sonne, wenn durch ihn der Wärmeverbrauch gedeckt werden sollte, in hundert drei und achtzig Jahren verzehrt seyn müsste” (Mayer 1848: 10).

<sup>218</sup> “(...) so haben diese wandernden Himmelskörper in der Peripherie des Sonnensystemes ihre Wiege, im Centrum ihr Grab (...) Alle diese Massen stürzen mit einem heftigen Stosse in ihr gemeinsames Grab. Da nun keine Ursache ohne Wirkung besteht, so muss auch jede dieser kosmischen Massen, ebenso wie ein zur Erde fallendes Gewicht, durch ihren Stoss eine, ihrer lebendigen Kraft proportionale Wirkung, eine gewisse Menge von Wärme, hervorbringen” (Mayer 1848 a:12).

<sup>219</sup> “Si les corps en question étaient également étendus dans les trois dimensions de l’espace, leur fréquence pourrait, en général, être d’une proportion inverse avec le cube de la distance du centre solaire et en conséquence les atomes planétaires près de la surface du soleil seraient presque dix millions de fois plus serrés que dans l’espace que parcourt la terre. Cependant, il existe des faits – c’est à dire la zone des taches du soleil et la forme

ser proporcional ao quadrado da velocidade. E segundo a experiência de Dulong, ele estabelece uma analogia entre a queda de um asteroide e a combustão do carbono como fonte do calor animal. No primeiro caso, o calor é proporcional ao quadrado da velocidade; no segundo caso, o calor é proporcional ao consumo de oxigênio e produção de dióxido de carbono.<sup>220</sup>

Na época existia uma enorme controvérsia no que concerne à fonte do calor animal. O fisiologista Muller concluiu, a partir das experiências de Dulong e Despretz, que a fonte do calor animal não residia apenas na respiração nos pulmões mas sim em outros locais nomeadamente no sistema nervoso. Tal como muitos dos seus contemporâneos, Muller considerou o sistema nervoso como a principal fonte de calor animal.<sup>221</sup> Com Gustav Magnus, a fonte do calor animal estava em todo o organismo na intimidade dos tecidos.<sup>222</sup>

No seu livro de 51, Mayer reforça a tese do artigo de 42, segundo a qual calor e movimento são diferentes formas dum mesmo objecto, mas não admite que o calor seja movimento.<sup>223</sup> A ligação entre movimento e calor é de quantidade e não de qualidade.<sup>224</sup> O que é o calor é uma questão que fica em aberto cuja resolução suporia resolver a questão do éter e conhecer a essência da matéria, nomeadamente se existem átomos.<sup>225</sup> Ele conclui nada

---

de la lumière zodiacale, ce nuage d'atomes cosmiques, - qui indiquent que le plan de l'équateur solaire est plus peuplé que le rest de l'espace" (Mayer 1978 : 165-66).

<sup>220</sup> A equivalência entre o consumo de oxigênio e a produção de dióxido de carbono foi estabelecida por Saussure acerca da germinação dos vegetais.

<sup>221</sup> "(...) Muller the physiologist (...) concluded from Dulong's and Despretz's experiments "That there must be other sources of animal heat than respiration, even one subscribes to the chemical theory of respiration (...) Like many of his contemporaries, Muller considered the nervous system to be a major source of animal heat" (Caneva 1993: 56).

<sup>222</sup> "Gustav Magnus (1802-1870) químico e fisiologista alemão, doseou pela primeira vez o oxigênio e o gás carbônico no sangue arterial e venoso, comprovando, assim que a utilização de oxigênio e eliminação de gás carbônico se passa na intimidade dos tecidos" (Rezende 2000: 3).

<sup>223</sup> Mas Mayer ao admitir uma transformação e equivalência entre calor e movimento poderia conduzir-nos a entender o calor como uma forma de movimento porque se há uma equivalência e transformação, os termos da relação são da mesma natureza.

<sup>224</sup> "Der Zusammenhang, in welchem, wie wir gesehen haben, die Wärme mit der Bewegung steht, bezieht sich auf die Quantität, nicht auf die Qualität, denn es sind -um mit Euklid zu reden - Gegenstände, die einander gleich sind, sich deshalb noch nicht ähnlich" (Mayer 1851:43).

<sup>225</sup> "Noch mehr ist das Wesen der specifischen Wärme, oder das, was im Innern eines erwärmten Körpers vorgeht, in Dunkel gehüllt. Nicht nur dass die ungelöste Aetherfrage hier wiederum eine Rolle spielt, sondern wir müssten auch, um über diesen Gegenstand in's Reine kommen zu können, zuvor eine genaue Kenntniss von dem innersten Wesen der Materien besitzen. Allein dazu fehlt noch viel; denn es ist uns insbesondere unbekannt,

sabermos acerca da essência do calor. Na quinta e última parte do livro, Mayer começa por explicar a razão de não ter sido descoberta mais cedo a relação entre calor e movimento. A razão do atraso residiria na terminologia física, a designação do peso por força e do calor por substância teria contribuído para dificultar o estabelecimento duma relação entre calor e movimento.<sup>226</sup>

---

ob es Atome gibt, d.h. ob die Materien aus solchen Bestandtheilen zusammengesetzt sind, die bei den chemischen Processen an sich keine Formveränderung mehr erfahren" (Mayer 1851:44).

<sup>226</sup> "Der herrschende Sprachgebrauch, welcher die Schwere mit dem Namen einer bewegenden Kraft, die Wärme mit der eines Stoffes bezeichnet, macht, dass einerseits die Bedeutung eines wichtigen Naturgegenstandes, des Fallraumes, dem Bewusstseyn möglichst ferne gerückt wird, und andererseits die Wärme eine von der lebendigen Kraft der Bewegung weit entlegene Stelle erhält. Das wissenschaftliche System wird dadurch zu einem künstlichen, auf dessen zerklüftetem Grunde man sich überall nur mittelst des mächtigen Hilfsmittels der höheren Analysis sicher fortbewegen kann.

Ohne Zweifel ist diesem Uebelstande auch zuzuschreiben, dass der so einfache und nahe liegende Zusammenhang der Wärme und der Bewegung bis auf die neueste Zeit hat verborgen bleiben können" (Mayer 1851:51).

## II.2.4. Electricidade

A conexão entre electricidade e mecânica é exemplificada com o electróforo.

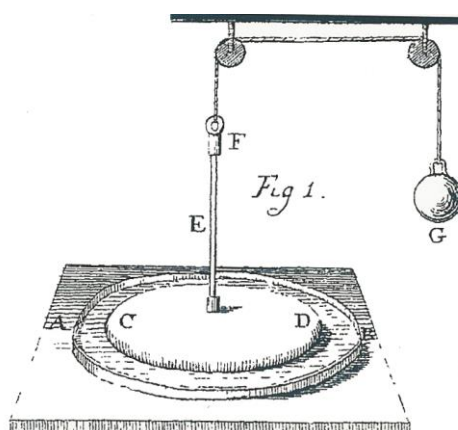


Fig 16

Electróforo de Wilcke 1778

Coelho 2006: 41

Trata-se de um utensílio constituído por uma base, um prato condutor e um pegador isolante. A parte superior do electróforo realiza em certas condições um efeito eléctrico, cujo valor Mayer simboliza por  $z$ . Levantando-se a parte superior até à altura  $h$ , pode obter-se um segundo efeito, que Mayer simboliza por  $z_0$ . Deixando a parte superior descer à posição original, pode obter-se novamente o efeito caracterizado por  $z$  e elevando-se a parte superior à altura  $h$ , novamente o efeito  $z_0$ . Mayer conclui que, de cada vez é dispendido um efeito mecânico  $x$  e ganho um efeito eléctrico  $z+z_0$ , pelo que coloca<sup>227</sup>  $x = z + z_0$ . Na sua terminologia, o efeito mecânico transformou-se em electricidade.<sup>228</sup>

<sup>227</sup> “(...) Auf der Unterscheibe liegend ist der Deckel im Stande einen elektrischen Effekt auszuüben; dieses ist geschehen, derselbe ist bestimmt worden und  $= z$  gefunden. Jetzt ist die Anziehung noch verstärkt und zur Hebung des Deckels bedarf es eines noch grösseren Gegengewichtes; das Produkt desselben in seine Höhe wird  $> Ph+p$ ; es sey  $= Ph+p+x$ . Auf  $h$  erhalten wir den zweiten el. Effekt  $z'$  u.s.f. Bei jeder Senkung ist nun das



A argumentação é do seguinte teor:

- a electricidade da parte inferior do electróforo mantém-se constante, pelo que não pode ter originado os fenómenos eléctricos;
- por outro lado realizou-se um efeito mecânico;
- logo, ou se admite que o efeito mecânico não teve consequência e os efeitos eléctricos surgiram do nada, um "duplo paradoxo", ou, admitindo-se que 'nada vem do nada', se conclui que o efeito mecânico se transformou em electricidade.<sup>229</sup>

Um outro exemplo de transformação de efeito mecânico em electricidade é dado pela electricidade obtida por fricção.<sup>230</sup> Mayer observa que na formação da electricidade por fricção falta o calor de fricção.<sup>231</sup>

## II.2.5. Separação química

A quinta das formas principais de força é dita diferença química ou existir quimicamente separado.<sup>232</sup> Esta forma de força é introduzida através duma analogia com a

---

gewonnene Produkt = Ph+p, bei jeder Erhebung aber das verlorene Produkt = Ph+p+x. Während wir also jedesmal einen mechanischen Effekt = x aufwenden, gewinnen wir den el. Effekt z+z'. So ist folglich: x = z + z'" (Mayer 1845: 23-4).

<sup>228</sup> "der mechanische Effekt ist in Elektrizität verwandelt worden" (Mayer 1845: 24).

<sup>229</sup> "Aus Nichts wird Nichts. Die Elektrizität des Harzkuchens kann, da sie sich unvermindert erhalten hat, die fortlaufende Summe el. Effekte nicht hervorgebracht haben; der bei jedem Turnus verschwundene mechanische Effekt kann nicht zu Null geworden seyn. Was bleibt übrig, wenn man sich nicht in einem doppelten Paradoxon gefällt? nichts, als auszusprechen: der mechanische Effekt ist in Eletrizität verwandelt worden" (Mayer 1845: 24).

<sup>230</sup> "Die Erzeugung der Reibungs-Elektrizität erfolgt ebenfalls unter dem Aufwande von mechanischem Effekt" (Mayer 1845: 25).

<sup>231</sup> "Bekannt ist auch, dass bei der Bildung von Reibungs-Elektrizität die Reibungswärme fehlt" (Mayer 1845: 25).

força resultante do levantamento dum corpo: tal como a "separação mecânica da terra", um grave a uma certa altura do sólo representa uma força e a separação química também. O argumento para a analogia é do seguinte teor: por dispêndio da força de separação mecânica, pela queda, ou, no contexto da analogia, pela ligação do grave à terra, é originado calor; pela ligação de algumas substâncias origina-se igualmente calor.<sup>233</sup> Um dos exemplos dados é o da junção de 1 grama de hidrogénio com 8 gramas de oxigénio, cujo calor desenvolvido é comparado com o resultante da ligação dum grave de duas gramas à terra,<sup>234</sup> proveniente duma distância pensada desde o limite de acção de atracção até ao sólo.<sup>235</sup>

## II.2.6. Seres vivos

Kenneth Caneva (1993) defende que durante as primeiras quatro décadas do século XIX, os cientistas e químicos orgânicos discutiam o papel das forças vitais. Elas

---

<sup>232</sup> "Das chemisch-getrennt Vorhandenseyn oder kürzer: die chemische Differenz der Materie ist eine Kraft" (Mayer 1845: 28).

<sup>233</sup> "Den räumlichen Abstand der Masse, in specie der Erde und eines Gewichtes, haben wir oben als eine Kraft kennen gelernt. Ein Gramme-Gewicht in unendlicher Entfernung - oder wie wir kürzer sagen wollen: in mechanischer Trennung von der Erde, stellt eine Kraft dar; durch den Aufwand dieser Kraft, d.h. durch die mechanische Verbindung beider Massen, wird eine andere Kraft erzeugt: die Bewegung eines Gramme-Gewichtes mit der Geschwindigkeit von 34450'; durch den Aufwand dieser Bewegung lässt sich ein Gramme Wasser um 17356° erwärmen. Die Erfahrung lehrt nun, dass derselbe Effekt, wie bei der mechanischen Verbindung, eine Wärmeentwicklung nemlich, erzielt wird durch die chemische Verbidung gewisser Materien" (Mayer 1845: 26-8).

<sup>234</sup> "Die chemische Verbindung von 1 Gramme Wasserstoff (die Verbrennungswärme desselben nach Dulong = 34743° angenommen) mit 8 Gramme Sauerstoff ist äquivalent der mechanischen Verbindung von 2 Gramme Gewicht mit der Erde; die Wärmeentwicklung bei beiden ist = 34700°" (Mayer 1845: 28).

<sup>235</sup> "Der Begriff einer unendlichen Entfernung ist hier im physischen und nicht im mathematischen Sinne zu nehmen, und unter demselben "die physische Grenze der Anziehungssphäre" der Erde zu verstehen (...) Setzt man beispielsweise statt einer unendlichen Entfernung von der Erde eine von 10000 Erdhalbmessern, so genügt eine solche für die hier betrachteten Fälle vollkommen" (Mayer 1845: 27).

são forças do organismo animal não redutíveis a forças químicas e físicas. Os fisiologistas procuravam as relações da força vital com a alma ou mente e com os processos físicos. A força vital explicava os processos físicos como o desenvolvimento embrionário, o crescimento, entre outros.

Autenrieth distinguia a alma da força vital, a força pela qual o corpo ou as suas partes desenvolvem movimentos vitais quando estimulados externamente. Ele explicava muitas funções orgânicas através da força vital. Para ele, a força vital era a fonte dos movimentos involuntários enquanto a alma era a fonte dos movimentos voluntários. E existiria uma independência e auto-suficiência da força vital em relação à matéria.

Tiedmann tal como Autenrieth criticavam a posição de Stahl de identificar a alma como a fonte e causa dos movimentos orgânicos. Müller defende uma concepção de força vital não redutível a forças químicas e físicas e que tal como outros imponderáveis - calor, luz, etc-, pode existir na matéria de uma forma latente.

A força vital não pode ser criada ou destruída. Mas a ideia de “transformação da força” surge com Mayer.

Mayer rejeita a ideia de uma força vital como causa dos fenómenos orgânicos. Para ele, a força é simultaneamente causa e efeito. É este princípio de causa igual ao efeito que ele vai aplicar aos fenómenos.

No livro de 45, a investigação dos processos vivos baseia-se numa “verdade axiomática”: só há transformação de força ou de matéria, mas nunca criação.<sup>236</sup> Isto é expressão do lema inicial no domínio orgânico, pois a criação significaria a negação do princípio metafísico “nada vem do nada”. A criação é entendida como transformação.

Mayer estabelece analogias envolvendo plantas e animais que remetem a equivalências entre grandezas, entre domínios. Ele não explica o como e porquê destes fenómenos. Mayer diz que são factos e recorre a experiências para demonstrá-los.

---

<sup>236</sup> “Der Verfasser glaubt daher auf das Einverständniss seiner Leser rechnen zu dürfen, wenn er der folgenden Untersuchung als axiomatische Wahrheit den Satz unterlegt: dass während des Lebensprocesses nur eine Umwandlung, so wie der Materie, so der Kraft, niemals aber eine Erschaffung der einen oder der anderen vor sich gehe”(Mayer 1845:40).

No livro de 45, Mayer trata o domínio orgânico de forma análoga ao inorgânico. Assim por exemplo, as plantas realizam uma dada actividade, mas apenas se dispõem de luz solar, pelo que a sua actividade não decorre do nada.<sup>237</sup>

Mayer refere-se a Theodore Saussure (1767-1845). Saussure no seu livro *Recherches chimiques sur la vegetation* de 1804 estabelece uma equivalência entre o consumo do gás oxigénio e a produção do gás ácido carbónico no processo de germinação dos vegetais, um processo de combustão do carbono dos vegetais. O oxigénio retirou o carbono do vegetal e formou com ele o gás ácido carbónico na mesma quantidade. O oxigénio da molécula do gás ácido carbónico é o oxigénio consumido e ligado ao carbono dos vegetais no processo de germinação.<sup>238</sup> Ele refere que esta combustão tem base nas teorias de Antoine-Laurent Lavoisier (1743-1794) sobre a combustão das substâncias.<sup>239</sup>

No processo de germinação por vezes também é necessária luz solar. É legítimo pensar que este aspecto se prende com a analogia de Mayer do sistema solar com entidades inorgânicas e depois organismos. No artigo de Mayer “Sur la production de la lumière et de la chaleur du soleil”, a produção de calor pela combustão dos elementos químicos, a força química, no Sol, e cujos elementos resultantes são enviados para a Terra e restantes planetas do sistema solar é analogada à combustão do carbono nos vegetais. Depois Mayer estabelece uma analogia entre os entes inorgânicos e orgânicos.

No caso dos animais, seria a força química dos alimentos e do oxigénio absorvido pela respiração, que estaria na origem dos movimentos que realizam e do calor que desenvolvem.<sup>240</sup> Isto justificaria porque um indivíduo em actividade necessita de mais

---

<sup>237</sup> “Die Erschaffung einer physischen Kraft, schon an und für sich selbst kaum denkbar, erscheint um so paradoxer, wenn man die Erfahrung berücksichtigt, dass die Pflanze einzig mit Hülfe des Sonnenlichtes ihre Leistung zu vollbringen im Stande ist” (Mayer 1845:40).

<sup>238</sup> “Si la quantité du gaz oxygène consumé l’emporte sur celle qui entre dans le gaz acide formé pendant l’opération, on peut en conclure qu’effectivement la graine a absorbé du gaz oxygène: mais si ces deux quantités sont constamment égales, on doit en inférer que le gaz oxygène ne point éte absorbé par la graine, mais qu’il a été employé uniquement à enlever au vegetal du carbone, en formant, avec ce dernier, du gaz acide carbonique” (Saussure 1804:8).

<sup>239</sup> “Le carbone, en se combinant au gaz oxygène par la combustion, ne doit point changer sensiblement le volume de ce dernier, car on trouve par le calcul, en suivant les données de Lavoisier (...)” (Saussure 1804:9).

<sup>240</sup> “Die chemische Kraft, welche in den eingeführten Nahrungsmitteln und in dem eingeathmeten Sauerstoffe enthalten ist, ist also die Quelle zweier Kraftäusserungen, der Bewegung und der Wärme, und die Summe der von einem Thiere producirten physischen Kräfte ist gleich der Grösse des gleichzeitig erfolgenden chemischen Processes” (Mayer 1845:45-6).

força química que um indivíduo em repouso.<sup>241</sup> Mayer dá exemplos numéricos de observações realizadas: as quantidades de ração para cavalos em repouso e em movimento;<sup>242</sup> a alimentação de presos, que estão em repouso, de soldados na caserna ou de trabalhadores em grande esforço físico.<sup>243</sup> Os dados disponíveis mostrariam que com o aumento de actividade seria necessária mais força química.

Mayer refere-se a Douville. Douville no *Journal de Chimie Medicale* de 1832, fez um estudo sobre a relação entre quantidade de calórico e a actividade intelectual dos indivíduos. Ele concluiu, que com o aumento da actividade intelectual a quantidade de calórico diminui, quando há pouca actividade intelectual não há consumo do calórico, pelo que este permanece no interior dos indivíduos.<sup>244</sup>

Mayer estabelece também uma relação entre a cor do sangue venoso e a temperatura do ambiente. Se o sangue venoso é mais claro nos trópicos que nas zonas mais frias, então é porque se consome mais oxigénio nas zonas frias para manter a temperatura do corpo.<sup>245</sup> Esta relação assentou numa observação clínica de Mayer aquando da sua viagem aos trópicos em 1840. A tripulação tinha feito boa viagem mas

---

<sup>241</sup> "In dem thätigen Thiere ist der Stoffwechsel viel grösser als in dem ruhenden. Die Grösse des in einem gewissen Zeitraume vor sich gehenden chemischen Processes sey im ruhenden Individuum = x, in dem thätigen Individuum = x + y. Würde nun während der Arbeit dieselbe Menge freier Wärme ausgeschieden, als in der Ruhe, so müsste der Mehraufwand an chemischer Kraft = y der Bildung mechanischer Effekte genau entsprechen. Durchschnittlich wird aber der thätige Organismus mehr freie Wärme bilden, als der ruhende, da schon die verstärkte Respiration einen vermehrten Wärmeverlust bedingt, der durch eine vermehrte Erzeugung gedeckt werden muss. Während der Arbeit wird also x + einem Theil von y zu Wärme, der Rest aber zu mechanischen Effekten verwendet werden" (Mayer 1845:50).

<sup>242</sup> "Ein starkes Pferd, das Tag für Tag der Ruhe pflegen darf, wird mit 15 (...) Heu und 5 (...) Hafer reichlich genährt; hat aber jezt das Thier, wie oben angenommen wurde, täglich 12'960000 (...) l' hoch zu heben, so kann es bei dieser Nahrung offenbar nicht bestehen. Wir legen ihm, um es in gutem Stande zu erhalten, 11 (...) Hafer (...) zu" (Mayer 1845:51).

<sup>243</sup> "Nach Liebig (...) erhalten die Gefangenen im Arresthause in Giessen, denen jede Bewegung mangelt, täglich 17 Loth (64 Lth. = 1 Kil.) Kohlenstoff. (...) Ein kasernirter Soldat geniesst täglich [...] 29 Loth Kohlenstoff. Gönnen wir aber unserem Arbeiter zur Vollbringung seiner schweren Leistung noch weitere 8 Loth, so wird er täglich 36 Loth einführen (...) Davon verwendet er zu mechanischem Effekte (...)" (Mayer 1845:52).

<sup>244</sup> "Ces résultats sembleraient prouver que, plus l'homme est stupide, plus son sang est chaud; il ne s'occupe de rien, et la chaleur est concentrée dans son intérieur" (Douville 1832:98).

<sup>245</sup> "Aus den bisher betrachteten Gesetzen folgt mit Nothwendigkeit, dass der Temperaturunterschied zwischen der Eigenwärme des Organismus und der Wärme des umgebenden Mediums in einer Grössenbeziehung mit dem Farbenunterschiede beider Blutarten, des Arterien- und des Venenblutes stehen müsse. Je grösser dieser Temperaturunterschied, oder die Kraftproduktion, um so grösser muss auch der Farbenunterschied, und je kleiner der Unterschied der Temperatur, um so kleiner auch der der Farbe seyn. Dieser Farbenunterschied ist ein Ausdruck für die Grösse des Sauerstoffverbrauches, oder für die Stärke des Verbrennungsprocesses im Organismus" (Mayer 1845:85-6).

apresentava uma infecção pulmonar tipo catarral à chegada. Ao fazer flebotomia verificou que o sangue venoso da tripulação mostrava o vermelho característico do sangue arterial.<sup>246</sup>

No livro de 45, a similitude no tratamento de fenómenos físico-químicos e biológicos é patente nas analogias estabelecidas. Assim, diz Mayer, tal como o calor fornecido a um gás a pressão constante,  $x$ , serve para aumentar a temperatura de  $y$  e ter um efeito mecânico de  $z$ , também o calor correspondente ao processo de oxidação que tem lugar nos músculos,  $x'$ , seria equivalente ao calor libertado,  $y'$ , e ao efeito mecânico produzido,  $z'$ . Num caso ter-se-ia

$$x = y + z$$

e no outro<sup>247</sup>

$$x' = y' + z'.$$

A elasticidade dum gás é analogada com a irritabilidade dos músculos: sem calor o gás não tem elasticidade e sem processo químico não há irritabilidade.<sup>248</sup> A razão da analogia é a seguinte, onde não está nada, também nada se pode transformar.<sup>249</sup> Mas

---

<sup>246</sup> “Während einer hunderttägigen Seereise war bei der aus 28 Köpfen bestehenden Equipage kein erheblicher Krankheitsfall vorgekommen; wenige Tage aber nach unserer Ankunft auf der Rhede von Batavia verbreitete sich epidemisch eine acute (katarrhalisch-entzündliche) Affection der Lungen. Bei den reichlichen Aderlässen, welche ich machte, hatte aus der Armvene gelassene Blut eine ungemeine Röthe, so, dass ich der Farbe nach glauben konnte, eine Arterie getroffen zu haben. (...) Bei einer reichlichen Aderlässe, welche ich zwei Monate nach unserer Ankunft in Java an einem kräftigen, von einer Leberentzündung befallenen Matrosen anstellte, fand ich eine normale schwarze Farbe des Blutes“ (Mayer 1845:84-5).

<sup>247</sup> “Wenn zu einer unter constantem Drucke sich befindenden Gasart eine bestimmte Menge von Wärme =  $x$  hinzutritt, so wird ein Theil dieser Wärme zur Temperaturerhöhung des Gases verwendet, und dieser Theil =  $y$  besteht als freie Wärme fort, ein anderer Theil wird "latent" und bringt den mechanischen Effekt =  $z$  hervor. Es ist nun  $x = y + z$ . Setzen wir den in den Capillaren eines Muskels vor sich gehenden Oxydationsprocess oder die diesem entsprechende Wärme =  $x'$ , die wirklich entwickelte freie Wärme =  $y'$ , und den gelieferten mechanischen Effekt =  $z'$ , so ist wieder  $x' = y' + z'$  " (Mayer 1845:98-9).

<sup>248</sup> “Da die Elasticität der Gase und die Irritabilität der Muskeln Eigenschaften sind, die sich auf die Metamorphose gegebener Kräfte beziehen, so ist die Existenz dieser Eigenschaften nothwendig an die Existenz der respectiven Kräfte geknüpft. Wo nichts ist, da lässt sich auch nichts umwandeln. Ohne Wärme ist keine Elasticität, ohne chemische Differenz, oder ohne chemischen Process, keine Irritabilität denkbar” (Mayer 1845: 100).

<sup>249</sup> “Da die Elasticität der Gase und die Irritabilität der Muskeln Eigenschaften sind, die sich auf die Metamorphose gegebener Kräfte beziehen, so ist die Existenz dieser Eigenschaften nothwendig an die Existenz der respectiven Kräfte geknüpft. Wo nichts ist, da lässt sich auch nichts umwandeln. Ohne Wärme ist keine

Mayer não explica a transformação da força química em efeito mecânico. A explicação assenta num modelo físico-químico e fisiológico.

Mayer pretende inicialmente estabelecer uma analogia entre a química e a física baseado na suposição de que se os elementos químicos se podem transformar uns nos outros, então também na física as forças deverão transformar-se umas nas outras. Porém, ele verifica que existe uma diferença entre elas. Mayer não acredita que os diferentes elementos químicos possam transformar-se uns nos outros ou serem reduzidos a uma única substância ao contrário da física em que há matematicamente uma única força.

No livro de 45, Mayer diz que a transformação dos elementos químicos uns nos outros ou a sua redução a uma única substância é duvidosa enquanto a transformação das várias formas de força umas nas outras pode ser provada. No futuro, a possibilidade de transmutar os vários elementos químicos uns nos outros ou reduzi-los a elementos mais simples ou mesmo a uma única substância fundamental é duvidosa. A mesma situação não se aplica às causas de movimento. Pode provar-se que as várias formas de força podem transformar-se umas nas outras. Conceptualmente, há uma única força.<sup>250</sup>

A relação que Mayer estabeleceu entre a cor do sangue venoso nos trópicos e a temperatura ambiente assenta na equivalência entre o consumo de oxigénio e a produção de dióxido de carbono para manter a temperatura do corpo. Analogia esta proposta por Theodore Saussure acerca da germinação dos vegetais. Também Lavoisier falava na conversão do ar vital da atmosfera em gás ácido carbonico na respiração pela combustão do carbono do sangue.<sup>251</sup>

---

Elasticität, ohne chemische Differenz, oder ohne chemischen Process keine Irritabilität denkbar" (Mayer 1845: 100).

<sup>250</sup> "Was die Chemie in Beziehung auf Materie, das hat die Physik in Beziehung auf Kraft zu leisten. Die Kraft in ihren verscjiedenen Formen Kennen zu lernen, die Bedingungen ihrer Metamorphosen zu erforschen, diess ist die einzige Aufgabe der Physik, denn die Erschaffung oder die Vernichtung einer Kraft liegt ausser dem Bereiche menschlichen Denkens und Wirkens. Ob es in zukunfftigen Zeiten je gelingen werde, die zahlreichen chemischen Grundstoffe in einander zu verwandeln, sie auf wenige Elemente oder gar auf einen einzigen Urstoff zuruckzufuhren, diess ist mehr als zweifelhaft. Nicht das Gleiche gilt von den Bewegungsursachen. A priori lasst sich beweisen und durch die Erfahrung uberall bestatigen, dass die verschiedenen Krafte ineinander sich verwandeln lassen" (Mayer 1845: 6).

<sup>251</sup> "(...) que la respiration est une combustion lente d'une portion de carbone que contient le sang, et que la chaleur animale est entretenue par la portion de calorique que se dégage au moment de la conversion de l'air vital de l'atmosphère en gaz acide carbonique, comme il arrive dans toute combustion du carbone". ( Lavoisier 1920:34).

Outro aspecto importante no pensamento de Mayer foi a imagem de organismo como uma máquina. Não que Mayer acreditasse verdadeiramente que o organismo fosse uma máquina, já que Mayer se opunha ao materialismo reducionista dos meados do século XIX alemão, mas em ordem a analisar as suas relações materiais e energéticas que pensava fazerem parte naturalmente de um organismo como uma máquina. Na carta de Mayer de 1848 “Sur la transformation de la force vive en chaleur, et réciproquement”, ele diz que há uma combustão do sangue sujeito à acção das paredes dos capilares e que o resultado desta combustão é o calor animal e o trabalho mecânico.<sup>252</sup>

### II.3. Historiografia sobre Mayer

Os historiadores da ciência também se têm ocupado de outros aspectos do pensamento de Mayer.

Como já referido, Thomas Kuhn (1959) no artigo “A conservação da energia como exemplo de descoberta simultânea” defende que os pioneiros da descoberta da conservação da energia foram influenciados pela *Naturphilosophie*, princípio filosófico dominante nos finais do século XVIII e inícios do século XIX, nomeadamente devido às ideias de Schelling, de uma unidade de todas as forças.

No mesmo artigo, Kuhn defende que contrariamente à historiografia tradicional da física que atribui a descoberta da conservação da energia a Mayer, Helmholtz, Joule e Colding em meados do século XIX, este princípio deveu-se à contribuição independente de pelo menos doze cientistas europeus, que formularam de diferente maneira teses diferentes mas congruentes para a formulação do princípio da conservação da energia nas duas décadas anteriores a 1850.

As teses formuladas dividiam-se em três grupos de acordo com três factores de relevo na contribuição para a formulação deste princípio: processos de conversão; desenvolvimento e

---

<sup>252</sup> “(...) Le sang vivant est une liqueur qui brûle lentement, soumis à l'action de présence des parois des vaisseaux capillaires ; le résultat de cette combustion est la chaleur animale et le travail mécanique” (Mayer 1848 b: 386).



quantificação ou matematização do conceito de trabalho mecânico ligado às máquinas térmicas, máquinas a vapor e o princípio da *Naturphilosophie*. Segundo este princípio filosófico, existia a ideia de uma unidade profunda entre todos os fenômenos naturais, ou seja, a noção de que forças vitais tinham o mesmo estatuto que os outros tipos de força e que também eram conservadas na natureza.

Gerald Holton, David Cassiday, James Rutherford, corroboram a tese de Kuhn de uma influência da *Naturphilosophie* no pensamento de Mayer.<sup>253</sup> Esta influência deve ser analisada com cuidado.

Como já referido no capítulo I, esta influência da *Naturphilosophie* na concepção de Mayer é contrariada pela análise dos textos de Mayer.

O principal argumento contra a influência da *Naturphilosophie* em Mayer referida pelos historiadores é que eles não apresentam passagens de Mayer para justificar a influência. Também Mayer nega a influência da *Naturphilosophie*. Como referido, no livro de 45 ele defende que a explicação da transformação é uma questão para poetas e filósofos da natureza, por oposição a um conhecimento positivo critica os filósofos que pretendem explicar os fenômenos. Ele relaciona observáveis e a diversidade é justificada por transformação.

A sua não aderência ao princípio da *Naturphilosophie* pode ser observada na sua distinção entre a física e a química no livro de 45. Mayer não acreditava que os elementos químicos pudessem ser transmutados uns nos outros ou que existisse um elemento originário comum a todos, ao contrário da física em que havia, conceitualmente, uma única força.

Heimann em 1976 nega a influência da *Naturphilosophie*. Ele sustenta que a filosofia de Schelling tinha como objectivo descobrir certos princípios *a priori* inacessíveis ao conhecimento empírico e que a concepção de física de Schelling contrastava com a de Mayer que concebia a força tão empírica quanto a matéria.<sup>254</sup>

Bevilacqua em 1993 também critica esta influência. Ele diz que desde os atomistas gregos, numerosos pensadores metafísicos sustentavam a unidade, uniformidade e

---

<sup>253</sup> “Mayer had been influenced by the German philosophical school now known as *Naturphilosophie* or “Nature Philosophy”” (Cassiday; Holton; Rutherford 2002: 275).

<sup>254</sup> “The fundamental aim of Schelling’s philosophy was to discover certain *a priori* principles that were inaccessible to empirical cognition (...) Schelling’s conception of physics stands in sharp contrast to that of Mayer, who sought to render the concept of force as empirically meaningful as the concept of matter” (Heimann 1976: 293).

homogeneidade dos fenómenos naturais, pelo que a *Naturphilosophie* não tem um papel privilegiado nesta tradição não podendo ser considerada um “trigger factor”.<sup>255</sup>

Caneva em 1993 também nega esta influência. O autor diz que Mayer nunca se referiu à ideia da unidade das forças.<sup>256</sup>

A tese de Kuhn, Cassiday, Holton, Rutherford parece resultar da ideia generalizada de uma influência da *Naturphilosophie* no pensamento dos cientistas do final do século XVIII e início do século XIX.

Gerald Holton e Stephen Brush na obra *Introduction to Concepts and Theories in Physical Sciences* de 1985 referem-se à convertibilidade da energia em Mayer. Os autores referem que não se pode igualar energia com causa a não ser que haja uma prova experimental da indestrutibilidade e convertibilidade da energia. Mas Mayer acreditou que esta prova já estava disponível nas experiências prévias, como elas foram interpretadas do seu ponto de vista.<sup>257</sup> Esta tese deve ser discutida por duas razões.

i) Mayer sustentava a transformabilidade do calor em movimento, mas não a convertibilidade de calor e movimento. A tese da convertibilidade é de Joule e a diferença entre ambas consiste no seguinte: Mayer realizou experiências para provar que o movimento produz calor e defendeu com base experimental que o calor produz movimento, mas sem admitir que o calor era movimento. Ele diz preferir admitir que o calor provenha do movimento a admitir que há uma causa sem efeito ou um efeito sem causa.<sup>258</sup> Há uma transformação de um no outro. O termo convertível está conotado com a ideia do calor ser movimento, o que justificaria a possibilidade da conversão. Ora, para Mayer, o calor não é

---

<sup>255</sup> “much the same point is essentially true for Kuhn’s third “trigger”, that of “the philosophy of nature”, in particular *Naturphilosophie*. From the Greek atomists onward, numerous metaphysical thinkers posited the unity, uniformity, and homogeneity of natural phenomena, and so contributed to the rise of energy conservation. *Naturphilosophie* has no privileged role in this hoary tradition (Bevilacqua 1993: 294).

<sup>256</sup> “(...) I conclude that the traditional link between Mayer and *Naturphilosophie*, the doctrine of the unity of forces, cannot support such a connection: not only was the unity of forces not one of Mayer’s guiding motifs, but it was not all that prominent among Naturphilosophen, either.” (Caneva 1993: 309-10).

<sup>257</sup> ““Causes” do not have the properties derived by this private logic, nor can one equate energy with “cause” unless there is prior *experimental* proof of the indestructibility and convertibility of energy. But Mayer beleieved that this proof was already avaiable from previous experiments, provided they where interpreted from his viewpoint” (Holton 1985: 269).

<sup>258</sup> “Ist es nun ausgemacht, daß für die verschwindende Bewegung in vielen Fällen (exception confirmat regulam) keine andere Wirkung gefunden werden kann, als die Wärme, für die entstandene Wärme keine andere Ursache als die Bewegung, so ziehen wir die Annahme, Wärme entsteht aus Bewegung, der Annahme einer Ursache ohne Wirkung und einer Wirkung ohne Ursache vor” (Mayer 1842: 238).

movimento. No livro de 51, ele diz que calor e movimento são formas diferentes de um mesmo objecto mas não são o mesmo objecto.

ii) O termo energia foi introduzido por Thomson em 1851 e nunca foi referido por Mayer nesse sentido. No mesmo livro, os historiadores da ciência referem-se a energia potencial e energia cinética em Mayer. Os autores referem que Mayer conclui que se a energia potencial e a energia cinética são equivalentes ao calor, o calor deve ser também naturalmente equivalente à energia cinética<sup>259</sup>. Historicamente, foi Rankine em 1853 que introduziu a distinção entre energia potencial e actual e posteriormente Thomson e Tait em 1862 substituíram a energia actual por energia cinética.

Dos pontos i) e ii), podemos concluir que a tese de Holton e Brush fica prejudicada.

Kenneth Caneva em 1993 diz que para Autenrieth, professor de fisiologia de Mayer, a procura de analogias estendeu-se para incluir um paralelo entre matéria ponderável e de atracção gravitacional e movimento como extremos opostos de um espectro de entidades que envolviam os imponderáveis, força vital e a alma. Tal como no caso dos autores que sustentavam apenas a força vital, estas discussões envolvem inevitavelmente uma reflexão em problemas de real ou aparente criação e destruição.

O autor acrescenta que a procura de analogias válidas desempenhou um papel importante no desenvolvimento das ideias de Mayer. O conceito de força e suas características apresentou-se em termos da analogia central entre força incriável, indestrutível e imponderável e matéria incriável, indestrutível e ponderável.<sup>260</sup>

O problema da criação levantado por Mayer é pertinente pois introduz um dado novo, a equivalência, abandonando a tradicional ideia da criação divina e da *Naturphilosophie* de uma força comum originária na raiz de todos os fenómenos naturais. Ele explica a diversidade com a ideia de equivalência entre a causa e o efeito que é diverso, dizendo que nada podemos dizer acerca da essência da causa. Mayer habilmente leva-nos a supor que a causa é diversa, pois se a causa e o efeito são equivalentes, o efeito é diverso e nada podemos dizer acerca da essência da causa, então parece claro que a causa é diversa. Mayer coloca a relação causa-

---

<sup>259</sup> “He simply concludes: “If potential energy and kinetic energy are equivalent to heat, heat must also naturally be equivalent to kinetic energy”” ( Holton 1985: 270).

<sup>260</sup> “(...) the search for valid analogies played a key role in the development of Mayer’s ideas. Indeed, the very concept of force and its characteristics were both arrived at and presented in terms of central analogy between uncreatable, indestructible, imponderable force and uncreatable, indestructible, ponderable matter.” (Caneva 1993 : 125).

efeito no plano dos factos, do fenomenológico, pois nada sabemos acerca da essência. Ele abandona o tradicional dualismo essência-aparência.

No mesmo livro, Caneva sustenta que apesar do tema central do pensamento de Mayer ser a equivalência do calor e movimento, ele nunca reduziu calor a movimento. Esta relutância à teoria do calor-movimento era devida a duas razões. Por um lado, Mayer opunha-se ao materialismo o qual reconhecia apenas a existência da matéria em movimento; por outro, na época as forças eram regularmente definidas como propriedades da matéria e Mayer considerava as forças independentes da matéria.<sup>261</sup> O autor acrescenta que Mayer parece pensar o calor fenomenologicamente, em termos das suas manifestações sensíveis e não em termos de movimento imaginável de partículas invisíveis.<sup>262</sup>

A preocupação de Mayer não é a natureza do calor, dizendo na sua obra de 1851 nada sabermos acerca do que seja a essência do calor. Mayer está preocupado em estabelecer uma equivalência entre calor e movimento como metodologia para a compreensão dos fenómenos. De facto, Mayer não identifica calor e movimento mas pensa a relação calor e movimento em termos quantitativos. Fá-lo porque diz existir uma relação causa-efeito entre calor e movimento.

Crosbie Smith em 2003 centra a energia em Inglaterra no século XIX. Ele diz que Mayer em 1848 reclamou a prioridade da descoberta do equivalente mecânico do calor em 1842. Isto porque Joule tinha-o demonstrado experimentalmente em 1843. Assim, William Thomson (1824-1907) reconheceu a prioridade da ideia do equivalente mecânico do calor a Mayer mas disse que tinha sido Joule que o tinha verificado experimentalmente.<sup>263</sup> O autor

---

<sup>261</sup> “Despite the fact that central to Mayer’s entire thinking was the equivalence of heat and motion, he nevertheless explicitly opposed reducing heat to motion. (...) This reluctance to embrace the mode-of-motion theory of heat was apparently fuelled by several reinforcing considerations. In the first place, Mayer was deeply opposed to materialism, and since classical materialism recognized the existence of only matter in motion, his doctrine of force and his refusal the central components of the materialist worldview. Second, in Mayer’s day forces were regularly defined as properties of matter, whereas he was concerned to vindicate for his forces an existence independent of matter” (Caneva 1993: 28).

<sup>262</sup> “It seems that Mayer tended to think of heat phenomenologically, in terms of its sensible manifestations-in particular, the macroscopic expansion of heated bodies-and not in terms of the imaginable motion of unseeable particles” (Caneva 1993: 29).

<sup>263</sup> “William Thomson, were to acknowledge Mayer’s priority with respect to the idea of a mechanical equivalent, but to claim that he (Joule) had established it by experiment” (Smith 2003: 296).

acrescenta que apenas a partir desta disputa de prioridade com Joule, os escritos de Mayer passaram a ser relidos como contribuições pioneiras para as doutrinas da física da energia.<sup>264</sup>

Esta tese deve ser discutida. A disputa de prioridade é sobre o equivalente mecânico do calor. A doutrina do calor movimento não foi aceite por Thomson até 1851.

De acordo com Smith, Thomson em 1847 pretendeu testar a teoria do calor como substância de Carnot-Clayperon<sup>265</sup> e apenas em 1851 aderiu à nova teoria dinâmica do calor, da equivalência do calor e do trabalho de Joule após a primeira reconciliação de Joule e Carnot por Rudolf Clausius (1822-1888) em 1850.<sup>266</sup> Porém, o autor negligencia o facto da equivalência do calor e do efeito mecânico ser também de Mayer. De facto, o teor do princípio da conservação, não há criação nem destruição, apenas transformação é de Mayer.

---

<sup>264</sup> “But only as the priority dispute with Joule developed in the late 1840s and beyond did the writings of Mayer begin to be reread as “pioneering contributions” toward the doctrines of energy physics” (Smith 2003: 296).

<sup>265</sup> “During his first session (1846-7) as Glasgow College professor of natural philosophy, William Thomson rediscovered a model air engine, presented to the college classroom in the late 1820s by its designer, Robert Stirling, but long since clogged with dust and oil. Having joined his elder brother as a member of the Glasgow Philosophical Society in December 1846; Thomson addressed the Society the following April on issues raised by the engine when considered as a material embodiment of the Carnot-Clayperon account of the motive power of heat. If, he suggested, the upper part of the engine were maintained at the freezing point of water by a steam of water, and if the lower part were held in a basin of water also at the freezing point, the engine could be cranked forward without the expenditure of mechanical effect (other than to overcome friction) because there existed no temperature difference” (Smith 2003: 291-2).

<sup>266</sup> “(...) Rudolf Clausius produced in 1850 the first reconciliation of Joule and Carnot. (...) Thomson finally laid down two propositions early in 1851, the first a statement of Joule’s mutual equivalence of work and heat” (Smith 2003: 298).

## II.4. Modelos explicativos

### II.4.1. Conservação da energia e transformabilidade das forças

A ideia de Mayer da conservação da energia e da passagem e transformabilidade das forças ou energias tem base na teoria de Lavoisier acerca do calórico e do movimento do calórico como explicação das sensações de frio e calor no organismo vivo. No *Traité Élémentaire de Chimie*, Lavoisier diz que sem movimento não há sensação.<sup>267</sup> Ele diz que a sensação de frio ou de calor se deve à passagem ou movimento do calórico entre o organismo e os corpos vizinhos. Lavoisier diz que o calor considerado como uma sensação é apenas o efeito produzido pelos órgãos pelo movimento ou passagem do calórico dos corpos circundantes. Ele dá um exemplo. Quando tocamos um corpo frio com a mão, o calórico que tende sempre a manter os corpos em equilíbrio, passa da nossa mão para o corpo dando-nos a sensação de frio e vice-versa. Se o corpo e a mão estão à mesma temperatura então não temos nenhuma sensação de frio ou calor porque não há passagem do calórico.<sup>268</sup>

---

<sup>267</sup> “In general, we receive impressiions only in consequence of motion, and we might establish it as an axiom, That, WITHOUT MOTION; THERE IS NO SENSATION” (Lavoisier 1790: 20).

<sup>268</sup> “ This general principle applies very accurately to the sensations of heat and cold: When we touch a cold body, the caloric which always tends to become in equilibrio in all bodies, passes from our hand into the body we touch, which gives us the feeling or sensation of cold. The direct contrary happens, when we touch a warm body, the caloric then passing from the body into our hand, produces the sensation of heat. If the hand and the body touched be of the same temperature, or very nearly fo, we receive no impression, either of heat or cold, becaufe there is no motion or passage of caloric; and thus no sensation can take place, without fome correspondent motion to occasion it” (Lavoisier 1790 : 20).

## II.4.2. Modelos explicativos hodiernos

### II.4.2.1. Modelo explicativo nos fenómenos físico-químicos

Mayer distingue matéria e força. A primeira como as causas ponderáveis e a segunda como as causas imponderáveis. Ele duvida da convertibilidade dos elementos químicos, da matéria, uns nos outros ou da sua redução a uma única substância ao contrário das forças. Há uma transformabilidade das forças.

Com a teoria atômica da química formulada em 1808 por John Dalton, sabe-se que todos os elementos químicos são compostos por pequenas partículas chamadas átomos.<sup>269</sup>

Com a mecânica quântica, sabe-se todas as estruturas que existem no mundo são constituídas por quarks e léptons.<sup>270</sup> Com a cromodinâmica quântica, sabe-se que existem diferentes tipos de quarks de acordo com cores diferentes.<sup>271</sup>

Assim, a matéria também é divisível em unidades mais simples. A nível subatômico, os elementos químicos são reduzidos a elementos mais simples.

Outro aspecto é a analogia da combustão do carbono com a fonte de calor animal. De acordo com as noções de astrofísica no século XX, o ciclo do carbono-hidrogénio é uma reacção nuclear de fusão de conversão do hidrogénio em hélio que ocorre nas estrelas maciças com libertação de energia. No interior do Sol, no núcleo do Sol, ocorrem reacções químicas a partir da conversão do hidrogénio em hélio e esta energia libertada é enviada para a Terra e os restantes planetas do sistema solar. Também no organismo vivo dão-se reacções químicas

---

<sup>269</sup> “(...) teoria de Dalton: i) todo elemento químico é composto de pequenas partículas chamadas átomos” (Caruso 2006: 35).

<sup>270</sup> “The pion,, neutron, proton ... are not part of the ultimate pieces of the puzzle; they join nuclei and atoms as one more manifestation of bound-state structures that exist in a world made of quarks and leptons” (Halzen 1984: 2).

<sup>271</sup> “(...) introducing a new property or quantum number for quarks (not for leptons!): “color”. We suppose that quarks come in three primary colors: red, green, and blue, denoted symbolically by R, G, and B, respectively” (Halzen 1984: 5)

com libertação de energia. Estas reacções químicas dão-se no citoplasma das células, nas mitocôndrias, unidades respiratórias das células, e a energia libertada é enviada a todo o organismo.

#### **II.4.2.2. Modelo teórico hodierno para organismos vivos**

Este modelo foi descrito anteriormente. Relembrando, o modelo pode ser esquematizado em três níveis integrativos. A base dos fenómenos biológicos é físico-química e assenta na bomba electrogénica de sódio-potássio. Há bombagem do sódio para o exterior à custa de gasto de ATP e libertação de uma molécula de dióxido de carbono. O dióxido de carbono vai ligar-se a uma molécula de hemoglobina formando-se a carboxihemoglobina ao nível dos capilares dos tecidos. A carboxihemoglobina é transportada pela veia cava até aos pulmões onde o dióxido de carbono troca com o oxigénio da inspiração nos alvéolos pulmonares. O oxigénio liga-se à hemoglobina formando-se a oxihemoglobina que é transportada pela aorta a todo o organismo. Ao nível dos capilares o oxigénio entra num outro ciclo de Krebs.



## II.5. Conclusão

Em 1840, Robert Mayer observou ou pensa ter observado que a cor do sangue venoso nos trópicos é mais clara que nas zonas mais frias, porque nestas se consome mais oxigénio para manter a temperatura do corpo.

Em 1914, surgiram vários artigos, em alguns dos quais se colocava a questão de saber se a observação de Mayer estava ou não correcta. Não se encontrou confirmação para a observação de Mayer e ainda hoje não se sabe se está ou não correcta. Para tentar responder a esta questão, elaboramos uma hipótese de modelo explicativo a partir dos dados do próprio Mayer e com base nas teorias hodiernas. Relembrando, o modelo pode ser esquematizado em três níveis integrativos. A base dos fenómenos biológicos é físico-química e assenta na bomba electrogénica de sódio-potássio. Há bombagem do sódio para o exterior à custa de gasto de ATP e libertação de uma molécula de dióxido de carbono. O dióxido de carbono vai ligar-se a uma molécula de hemoglobina formando-se a carboxihemoglobina ao nível dos capilares dos tecidos. A carboxihemoglobina é transportada pela veia cava até aos pulmões onde o dióxido de carbono troca com o oxigénio da inspiração que é transportada pela aorta a todo o organismo. Ao nível dos capilares o oxigénio entra num outro ciclo de Krebs.

O gérmen do princípio da conservação da energia teve origem nesta observação clínica de Mayer. Ele assentou no seguinte raciocínio. Se o sangue venoso nos trópicos é mais claro que nos climas mais frios então há mais oxidação ou consumo de oxigénio nos segundos para manter a temperatura do corpo. Esta ideia vai ser generalizada na forma: para se conseguir algo, algo tem que ser realizado. Isto é praticado no artigo de 42, onde é justificado pela igualdade entre causa e efeito. Tudo o que é causa tem de passar para o efeito, nada se perdendo da causa. O mesmo é praticado no livro de 45, onde aparece na forma, nada vem do nada e nada se torna em nada. Neste livro, aquela ideia é também aplicada aos seres vivos. Quando em 1851, Mayer reflecte sobre o seu próprio processo de tratamento dos fenómenos, reforça a ideia da equivalência: a tantas unidades de trabalho correspondem tantas unidades de calor, ou por outros termos, para se conseguir algo (tantas unidades de calor) algo tem de ser realizado (tantas unidades de trabalho). Esta interpretação é portanto corroborada pelas

proposições fundamentais de Mayer nas obras principais, assim como pela sua própria explicação sobre o papel no seu pensamento da observação clínica nos trópicos. Passemos às principais teses da historiografia.

Alguns historiadores defendem a influência da *Naturphilosophie* na concepção de Mayer enquanto outros a negam. Kuhn propô-la em 1959 e foi corroborada por Holton, Cassiday e Rutherford. A *Naturphilosophie* tinha a função de nos explicar que Mayer tivesse chegado à ideia da conservação da energia. Ora nós mostrámos como Mayer chegou a essa ideia sem recurso à *Naturphilosophie* mas antes com base nos seus textos principais e teses fundamentais. Além disso, Mayer não apenas rejeitava a influência dos filósofos da natureza como criticava severamente as suas explicações. Estas não seriam para ele conhecimento objectivo que era aquilo que ele dizia fazer. Isto permite-nos perceber que Heimann em 1976 tenha dito que a filosofia de Schelling tinha como objectivo descobrir certos princípios *a priori* inacessíveis ao conhecimento empírico e que a concepção de física de Schelling contrastava com a de Mayer que tinha um conceito de força tão empírico quanto o de matéria. Por esta razão ele discordou da influência da *Naturphilosophie* no pensamento de Mayer. De igual modo, Bevilacqua em 1993 sustentou que desde os atomistas gregos, numerosos pensadores metafísicos sustentavam a unidade, uniformidade e homogeneidade dos fenómenos naturais, pelo que a *Naturphilosophie* não tem um papel privilegiado nesta tradição. Outros historiadores também negam esta influência tal como Caneva em 1993 que defende que Mayer nunca se referiu à ideia da unidade das forças.

Holton e Brush em 1985 referiram-se à convertibilidade da energia em Mayer. Mayer sustentava a transformabilidade do calor em efeito mecânico e do calor em movimento e não a convertibilidade do calor e movimento. A tese da convertibilidade é de Joule. Também o termo energia foi introduzido por Thomson em 1851 e nunca foi referido por Mayer com o mesmo sentido.

No mesmo livro, os historiadores referiram-se a energia potencial e energia cinética em Mayer. Historicamente, foi Rankine em 1853 que introduziu a distinção entre energia potencial e actual, sendo actual substituída por cinética graças a Thomson e Tait em 1862.

Smith em 2003 defendeu que apenas a partir da disputa de prioridade de Mayer com Joule em 1848, os escritos de Mayer passaram a ser relidos como contribuições pioneiras para as doutrinas da física da energia. O autor negligencia o facto da equivalência do calor e do

efeito mecânico ser também de Mayer. De facto, o teor do princípio da conservação, não há criação nem destruição, apenas transformação é de Mayer e não de Joule.

### Cap.III. Hermann von Helmholtz

Hermann von Helmholtz (1821-1894) nasceu em Postdam, Alemanha, a 31 de Agosto de 1821; morreu em Berlim a 8 de Setembro de 1894. Foi um importante médico e físico do século XIX.

Era o mais velho de 4 irmãos. A mãe, Caroline Penn, era filha de um oficial de artilharia. O pai, August Ferdinand Julius Helmholtz, que estudara filologia e filosofia na nova universidade de Berlim, aceitou um modesto lugar no Gymnasium de Postdam. Figura romântica, apaixonado pelas artes e pela filosofia, admirava o pensamento de Kant e de J. G. Fichte, de cujo filho, Immanuel Hermann, era amigo íntimo. O clima intelectual não pode ter deixado de influenciar o jovem Helmholtz.

No Gymnasium de Postdam, o interesse de Helmholtz inclinou-se desde cedo para a física. Mas o pai não estava em condições financeiras de o mandar para a universidade e convenceu-o a estudar medicina, para o estudo da qual existiam apoios estatais. Assim, em 1837 obteve uma bolsa de cinco anos para estudar no Konighisch Medizinisch-chirurgische Friedrich Wilhelms Institute em Berlim. Aí teve oportunidade de fazer várias cadeiras, química, fisiologia, matemática e de estudar as obras filosóficas de Kant.

O seu pensamento foi influenciado por Fichte e Kant.

Helmholtz completou o M.D. em 1842, após o que foi nomeado cirurgião no Regimento de Postdam. Não tendo perdido os seus contactos berlinenses, foi chamado a integrar a recém fundada Physikalische Gesellschaft, onde a 23 de Julho de 1847 apresenta “Ueber die Erhaltung der Kraft”, na qual expõe pela primeira vez o princípio da conservação da energia.

Libertado do serviço militar, é nomeado professor associado de fisiologia em Königsberg. Antes de deixar Postdam, casa com Olga von Velten em 26 de Agosto de 1849.

Em Königsberg desenvolveu pesquisas sobre a velocidade do impulso nervoso e publicou os seus primeiros artigos sobre óptica e acústica fisiológicas. Com a invenção do oftalmoscópio em 1851 ganhou reputação europeia. Em 1853 realizou a sua primeira visita a

Inglaterra, tendo estabelecido amizade com vários físicos ingleses, nomeadamente com William Thomson.

A sua mulher Olga não se dava bem com o clima muito frio de Königsberg e em 1855, com a ajuda de Alexander von Humboldt, Helmholtz obteve a transferência para uma cátedra de anatomia e fisiologia que tinha vago em Bona. Em Bona publicou em 1856 o primeiro volume do *Handbuch der physiologischen Optik*. A sua obra tem uma nova inflexão com os seus artigos fundamentais de 1858 sobre a hidrodinâmica do movimento vortex. Os seus pontos de vista filosóficos tinham desde 1855 começado a divergir da posição idealista de seu pai, mas manteve o interesse pela epistemologia e a perspectiva sobre a natureza subjectiva da percepção sensorial

Helmholtz nunca esteve inteiramente satisfeito em Bona. A anatomia não era um domínio bem aceite pelas correntes tradicionalistas, a que Helmholtz opunha a sua perspectiva mecano-fisiológica.

Em 1857, o governo de Baden ofereceu-lhe uma cátedra em Heidelberg, onde permaneceu treze anos, dos mais produtivos da sua carreira, durante os quais publicou “Über Luftschwingungen in Röhren mit offenen Enden” (1859) e o influente *Die Leher von den Tonempfindungen als physiologische Grundlage für die Theorie der Musik* (1862).

Os anos de Heidelberg trouxeram também importantes mudanças a nível pessoal. A sua mulher morreu no final de 1859, deixando Helmholtz com 2 crianças ainda pequenas. Em Maio de 1861, casou-se com Anna von Mohl, filha de um professor de Heidelberg, de quem veio a ter três filhos.

Em 1870, a morte de Gustav Magnus deixou vaga a prestigiosa cátedra de física em Berlim. Helmholtz foi nomeado em 1871.

Em 1885, Helmholtz era o patriarca da Ciência Germânica, tornando-se escutado pelas instâncias governamentais em assuntos científicos. Esta posição tornou-se mais clara, quando em 1887, assumiu a presidência da recém fundada Physikalisch-technische Reichsanstalt para a pesquisa nas ciências exactas e precisão tecnológica.

A saúde Helmholtz debilitou-se a partir de 1885 e apesar de longos períodos de repouso nos Alpes, veio a falecer em 1894.

### III.1. O artigo de 1847

Em 1847 Helmholtz apresentou uma comunicação na Sociedade Física de Berlim, com o título *Ueber die Erhaltung der Kraft*, que viria a ser publicada nesse mesmo ano. O artigo pode ser dividido em três partes: a primeira como fundamento do procedimento teórico que Helmholtz empreende; a segunda aborda a conservação da força nos diversos domínios da física - mecânica, teoria do calor, electricidade e magnetismo; a terceira, de menor extensão, diz respeito aos seres vivos.

A tese do artigo reside no facto de existirem duas forças últimas ou fundamentais na natureza, forças vivas e forças de tensão, cuja soma é constante. A argumentação do artigo consiste essencialmente em mostrar que os fenómenos estão em conformidade com a admissão das duas forças, o que é feito de forma genérica em relação aos seres vivos. A fundamentação destas forças é filosófica.

Helmholtz procura justificar as forças que ele introduz através da filosofia. Por isso começa com o tema “como se conhece em ciência”, onde aparece o tópico matéria-força, e estabelece a tarefa da ciência, explicação por causas imutáveis. Se esta filosofia for aceite, então tornam-se aceitáveis as forças de tensão e as forças vivas.

Helmholtz reduz a explicação de todos os fenómenos a duas forças-causas abstractas, as forças de tensão e as forças vivas. As forças de tensão dependem da distância entre os corpos. As forças vivas são as forças do movimento. Quando dois corpos estão em repouso e têm tendência a movimentar-se então temos as forças de tensão. Quando os corpos se movimentam então temos as forças de movimento, as forças vivas.

Para Helmholtz, a redução de todos os fenómenos às duas causas-forças últimas é condição para a completa inteligibilidade da natureza.

Helmholtz vai passar à tarefa da ciência teórica no processo do conhecimento.

A parte teórica da ciência consiste na procura das causas últimas dos fenómenos segundo a lei da causalidade.<sup>272</sup> Se as causas pelas quais se explicam os fenómenos são mutáveis devemos prosseguir a procura até se encontrarem as causas últimas.<sup>273</sup> Tal é justificado pelo princípio da razão suficiente.<sup>274</sup> Segundo esse princípio fundamental, qualquer mudança na natureza deve ter uma razão suficiente.<sup>275</sup>

Para caracterizar as causas últimas, Helmholtz parte da relação do sujeito cognoscente em ciência com os objectos externos.

A ciência trata os objectos do mundo exterior segundo uma dupla abstracção, a matéria e a força.<sup>276</sup> Em primeiro lugar, ela trata-os como simples existências, sem relação com os nossos órgãos dos sentidos ou entre eles. Assim, a matéria não teria efeito nos nossos órgãos dos sentidos; os efeitos que os objectos exercem em nós seriam forças.<sup>277</sup> Como tal, seria errado considerar a matéria real e a força não.<sup>278</sup> Matéria e força são abstracções,<sup>279</sup> e são

---

<sup>272</sup>“Der theoretische Theil derselben sucht dagegen, die unbekannten Ursachen der Vorgänge aus ihren sichtbaren Wirkungen zu finden; er sucht dieselben zu begreifen nach dem Gesetze der Causalität” (Helmholtz 1847: 13).

<sup>273</sup> “Das endliche Ziel der theoretischen Naturwissenschaften ist also, die letzten unveränderlichen Ursachen der Vorgänge in der Natur aufzufinden” (Helmholtz 1847: 13).

<sup>274</sup> “Wir werden genöthigt und berechtigt zu diesem Geschäfte durch den Grundsatz, dass jede Veränderung in der Natur eine zureichende Ursache haben müsse. Die nächsten Ursachen, welche wir den Naturerscheinungen unterlegen, können selbst unveränderlich sein oder veränderlich; im letzteren Falle nöthigt uns derselbe Grundsatz nach anderen Ursachen wiederum dieser Veränderung zu suchen, und so fort, bis wir zuletzt zu letzten Ursachen gekommen sind, welche nach einem unveränderlichen Gesetz wirken, welche folglich zu jeder Zeit unter denselben äusseren Verhältnissen dieselbe Wirkung hervorbringen” (Helmholtz 1847: 13).

<sup>275</sup> “Wir werden genöthigt und berechtigt zu diesem Geschäfte durch den Grundsatz, dass jede Veränderung in der Natur eine zureichende Ursache haben müsse” (Helmholtz 1847:13).

<sup>276</sup> “Die Wissenschaft betrachtet die Gegenstände der Aussenwelt nach zweierlei Abstractionen: einmal ihrem blossen Dasein nach, abgesehen von ihren Wirkungen auf andere Gegenstände oder unsere Sinnesorgane; als solche bezeichnet sie dieselben als Materie (...) Wenn wir also den Begriff der Materie in der Wirklichkeit anwenden wollen, so dürfen wir dies nur, indem wir durch eine zweite Abstraction demselben wiederum hinzufügen, wovon wir vorher abstrahiren wollten, nämlich das Vermögen Wirkungen auszuüben, d.h. indem wir derselben Kräfte zuertheilen” Helmholtz 1847: 14).

<sup>277</sup> “Das Dasein der Materie an sich ist uns also ein ruhiges, wirkungsloses (...) Qualitative Unterschiede dürfen wir der Materie an sich nicht zuschreiben, denn wenn wir von verschiedenartigen Materien sprechen, so setzen wir ihre Verschiedenheit immer nur in die Verschiedenheit ihrer Wirkungen d.h. in ihre Kräfte” (Helmholtz 1847: 14).

<sup>278</sup> “Ebenso fehlerhaft ist es, die Materie für etwas Wirkliches, die Kraft für einen blossen Begriff erklären zu wollen, dem nichts Wirkliches entspräche” (Helmholtz 1847: 14).

<sup>279</sup> “beides sind vielmehr Abstractionen von dem Wirklichen, in ganz gleicher Art gebildet; wir können ja die Materie eben nur durch ihre Kräfte, nie an sich selbst, wahrnehmen” (Helmholtz 1847: 14).

inseparáveis,<sup>280</sup> pois é pela força que inferimos a existência da matéria.<sup>281</sup> A matéria é apenas discernível pelas suas forças e não por ela mesma. A matéria é em si incognoscível.

Para Helmholtz, há uma primeira precisão na tarefa da ciência teórica: a remissão a forças imutáveis, pois como a existência da matéria é inferida da força, a remissão às causas últimas significa remissão a forças imutáveis.<sup>282</sup> Helmholtz considera 'forças imutáveis' como 'qualidades indestrutíveis da matéria', os elementos.<sup>283</sup>

A redução a causas últimas é a redução a forças imutáveis. Para Helmholtz, o que é imutável nas coisas são os elementos. A mudança é devida à mudança da relação espacial entre os corpos, ao movimento.

Helmholtz diz que se pensarmos o mundo constituído por elementos com qualidades indestrutíveis, qualquer mudança nele será espacial, ou seja, movimento.<sup>284</sup> Por outras palavras, como estamos perante elementos que por si não mudam, então só podem ocorrer alterações na posição relativa, movimentos.

Temos assim em Helmholtz uma outra precisão na tarefa da ciência teórica: os fenómenos devem ser remetidos a movimentos da matéria, pois qualquer mudança só pode provir do movimento, e as suas forças motrizes só podem depender das relações espaciais.<sup>285</sup>

---

<sup>280</sup> "Es ist einleuchtend, dass die Begriffe von Materie und Kraft in der Anwendung auf die Natur nie getrennt werden dürfen" (Helmholtz 1847: 14).

<sup>281</sup> "Die Gegenstände der Natur sind aber nicht wirkungslos, ja wir kommen überhaupt zu ihrer Kenntniss nur durch die Wirkungen, welche von ihnen aus auf unsere Sinnesorgane erfolgen, indem wir aus diesen Wirkungen auf ein Wirkendes schliessen" (Helmholtz 1847: 14).

<sup>282</sup> "Wir haben oben gesehen, dass die Naturerscheinungen auf unveränderliche letzte Ursachen zurückgeführt werden sollen; diese Forderung gestaltet sich nun so, dass als letzte Ursachen der Zeit nach unveränderliche Kräfte gefunden werden sollen" (Helmholtz 1847: 14).

<sup>283</sup> "Materien mit unveränderlichen Kräften (unverteilbaren Qualitäten) haben wir in der Wissenschaft (chemische) Elemente genannt" (Helmholtz 1847: 15).

<sup>284</sup> "Denken wir uns aber das Weltall zerlegt in Elemente mit unveränderlichen Qualitäten, so sind die einzigen noch möglichen Aenderungen in einem solchen System räumliche, d.h. Bewegungen" (Helmholtz 1847: 15).

<sup>285</sup> "die äusseren Verhältnisse, durch welche die Wirkung der Kräfte modificirt wird, können nur noch räumliche sein, also die Kräfte nur Bewegungskräfte, abhängig in ihrer Wirkung nur von den räumlichen Verhältnissen. Also näher bestimmt: Die Naturerscheinungen sollen zurückgeführt werden auf Bewegungen von Materien mit unveränderlichen Bewegungskräften, welche nur von den räumlichen Verhältnissen abhängig sind" (Helmholtz 1847: 15).



O movimento é definido como mudança das relações espaciais.<sup>286</sup> Estas relações espaciais são apenas possíveis entre corpos: as relações só têm lugar num espaço limitado onde existam pelo menos dois corpos.<sup>287</sup>

Helmholtz vai posteriormente caracterizar as forças como atractivas ou repulsivas, afastamento ou aproximação de duas massas.<sup>288</sup>

Ele chega assim à delimitação final da tarefa da ciência teórica: remissão dos fenómenos a forças imutáveis, atractivas ou repulsivas, dirigidas segundo a linha que une as massas e de intensidade dependente da distância.<sup>289</sup>

Helmholtz adopta então como princípio ser impossível criar força permanentemente a partir do nada, uma proposição que remete a Carnot e Clayperon. Helmholtz pretende estender este princípio a todos os ramos da física.

Helmholtz vai dizer que o princípio da conservação da vis viva,  $mgh = \frac{1}{2}mv^2$ , não é válido para todo o tipo possível de forças.<sup>290</sup> Na mecânica, o princípio apenas é válido para as forças centrais, ou seja, forças como pontos materiais actuando na direcção das linhas que os une, a intensidade das forças dependendo apenas da distância entre os pontos. Estas forças são as forças de atracção e as forças de repulsão. E chega à conclusão que em todos os casos de pontos materiais em movimento sob a influência das suas forças de atracção e repulsão, a perda na força de tensão é sempre igual ao ganho na força viva e vive-versa. Helmholtz deduz então o lema inicial: a soma das forças de tensão e das forças vivas é sempre constante.<sup>291</sup>

---

<sup>286</sup> "Bewegung ist Aenderung der räumlichen Verhältnisse" (Helmholtz 1847: 15).

<sup>287</sup> "Räumliche Verhältnisse sind nur möglich gegen abgegrenzte Raumgrößen, nicht gegen den unterschiedslosen leeren Raum. Bewegung kann deshalb in der Erfahrung nur vorkommen als Aenderung der räumlichen Verhältnisse wenigstens zweier materieller Körper gegen einander" (Helmholtz 1847: 15).

<sup>288</sup> "Eine Bewegungskraft, welche sie gegen einander ausüben, kann deshalb auch nur Ursache zur Aenderung ihrer Entfernung sein, d.h. eine anziehende oder abstossende (...) Die Kräfte, welche zwei Massen auf einander ausüben, müssen nothwendig ihrer Größe und Richtung nach bestimmt sein, sobald die Lage der Massen vollständig gegeben ist. Durch zwei Punkte ist aber nur eine einzige Richtung vollständig gegeben, nämlich die ihrer Verbindungslinie; folglich müssen die Kräfte, welche sie gegen einander ausüben, nach dieser Linie gerichtet sein, und ihre Intensität kann nur von der Entfernung abhängen" (Helmholtz 1847: 15-6).

<sup>289</sup> "Es bestimmt sich also endlich die Aufgabe der physikalischen Naturwissenschaften dahin, die Naturerscheinungen zurückzuführen auf unveränderliche, anziehende und abstossende Kräfte, deren Intensität von der Entfernung abhängt" (Helmholtz 1847: 16).

<sup>290</sup> "Dieses Princip gilt aber nicht für alle möglichen Arten von Kräften" (Helmholtz 1847:19).

<sup>291</sup> "Es ist also stets die Summe der vorhandenen lebendigen und Spannkraft constant" (Helmholtz 1847: 25).

Comecemos com a aplicação do princípio à gravidade. No caso dos corpos celestes, a lei manifesta-se no aumento de velocidade que é evidente quando as órbitas dos planetas estão mais próximas do sol assim como a inalterabilidade do maior eixo das suas órbitas, os seus períodos de rotação e seus períodos de revolução orbital. No caso dos corpos terrestres, a lei manifesta-se do seguinte modo: a velocidade terminal de um corpo em queda depende apenas da distância perpendicular e é independente da forma da via e de qualquer deslocamento lateral; esta velocidade se não for diminuída por fricção ou choque inelástico, é suficiente para trazer o corpo à mesma altura donde originalmente caiu.

Passando aos fenómenos que envolvem calor. Consideremos aqueles em que há uma perda absoluta de força, o choque inelástico e a fricção.

No choque inelástico, a perda de força está relacionada com uma mudança na forma e uma compressão dos corpos envolvidos e então a um aumento na força de tensão com desenvolvimento de calor. Por exemplo, quando se bate repetidamente um metal com um martelo, há aparecimento de calor. Parte do movimento é também comunicado ao ar como som.<sup>292</sup> O calor não se observa, apenas o movimento.

Na fricção, também há perda de força e para além das alterações na forma produzidas pelo deslocamento de partículas, ocorrem alterações térmicas e eléctricas.<sup>293</sup>

À parte do aumento da força de tensão devido à compressão dos corpos, o calor desenvolvido também representa uma força e a electricidade desenvolvida é negligenciada. Helmholtz vai perguntar se a soma destas forças corresponde sempre à força mecânica perdida. Ele coloca duas questões: se uma quantidade definitiva de calor desenvolve-se sempre para uma certa perda de força mecânica; em que medida pode uma quantidade de calor corresponder a uma força mecânica equivalente.

Para responder à primeira questão, Helmholtz baseia-se nas experiências de Joule de 43 e 45,<sup>294</sup> em que o valor determinado por Joule para o equivalente é colocado em causa mas é admitida uma equivalência.<sup>295</sup>

---

<sup>292</sup> "Derselbe ist meist mit einer Formveränderung und Verdichtung der gestossenen Körper verbunden, also mit Vermehrung der Spannkkräfte; dann finden wir bei oft wiederholten Stößen der Art eine beträchtliche Wärmeentwicklung, z.B. beim Hämmern eines Metallstückes; endlich wird ein Theil der Bewegung als Schall an die anstossenden festen und luftförmigen Körper abgegeben" (Helmholtz 1847: 31-2).

<sup>293</sup> "(...) sowohl an den Oberflächen zweier sich über einander hinbewegender Körper, als im Innern derselben bei Formveränderungen (...) Auch bei der Reibung finden meistens geringe Veränderungen in der moleculären Constitution der Körper (...) Ausserdem finden aber stets auch thermische und electricische Aenderungen statt" (Helmholtz 1847: 32).

Para responder à segunda questão, Helmholtz parte da concepção do calor-substância de Carnot-Clayperon. Segundo esta concepção, a quantidade de calórico é constante, o calórico pode desenvolver força mecânica apenas esforçando-se por expandir. Nesta teoria a força equivalente de calor pode consistir apenas no trabalho produzido pelo calor quando passa de uma temperatura mais alta para uma mais baixa. A concepção do calor-substância não é suficiente para a explicação dos fenómenos térmicos.

Quanto à explicação do calor desenvolvido por fricção, ele teria de admitir que o calor proviesse do exterior de acordo com os trabalhos de Henry ou ter sido originado pela compressão da superfície e das partes friccionadas de acordo com os trabalhos de Berthollet.<sup>296</sup> Quanto à primeira não há evidência empírica a seu favor, pelo que não pode ser considerada por falta de prova experimental.<sup>297</sup> A segunda é contrariada pela experiência, como por exemplo pelos trabalhos de Davy de fusão do gelo por fricção.<sup>298</sup>

Helmholtz vai também justificar com a máquina electromagnética, mostrando que a quantidade de calor pode ser aumentada absolutamente por forças mecânicas. Assim, os fenómenos térmicos não podem ser explicados por uma substância mas sim por movimento.<sup>299</sup>

---

<sup>294</sup> "Zur Lösung der ersteren Frage sind erst wenige Versuche angestellt. Joule hat die Wärmemengen untersucht, welche bei der Reibung des Wassers in engen Röhren und in einem Gerässe entwickelt werden, wo es durch ein nach Art einer Turbine construirtes Rad in Bewegung gesetzt wurde" (Helmholtz 1847: 33).

<sup>295</sup> "Indessen entsprechen seine Messungsmethoden zu wenig der Schwierigkeit der Untersuchung, als dass diese Resultate irgendwie auf Genauigkeit Anspruch machen könnten; wahrscheinlich sind diese Zahlen zu hoch, weil (...)" (Helmholtz 1847: 33).

<sup>296</sup> "Um die Reibungswärme zu erklären, muss die materielle Theorie entweder annehmen, dass dieselbe von aussen zugeleitet sei, nach W. Henry, oder dass dieselbe nach Berthollet durch Compression der Oberflächen und der abgeriebenen Theile entstehe" (Helmholtz 1847: 33-4).

<sup>297</sup> "Der ersteren Annahme fehlt bisher noch jede Erfahrung" (Helmholtz 1847: 34).

<sup>298</sup> "die zweite (...) scheitert ganz bei der Reibung von Flüssigkeiten und bei den Versuchen, wo Eisenkeile durch Hämmern glühend und weich gemacht, Eisstücke durch Reibung geschmolzen werden, da doch (...)" (Helmholtz 1847: 34).

<sup>299</sup> "Aus diesen Tatsachen folgt nun, dass die Quantität der Wärme absolut vermehrt werden könne durch mechanische Kräfte, dass deshalb die Wärmeerscheinungen nicht hergeleitet werden können von einem Stoffe, welcher durch sein blosses Vorhandensein dieselben bedinge, sondern dass sie abzuleiten seien von Veränderungen, von Bewegungen" (Helmholtz 1847: 35).

A quantidade de calor seria a soma das forças vivas do movimento e das forças de tensão nos átomos. O calor ligado às forças vivas é designado por calor livre e o calor associado às forças de tensão, o calor latente.<sup>300</sup>

Helmholtz diz que é suficiente a possibilidade de pensar o calor como movimento.<sup>301</sup>

Seguidamente, ele vai considerar a produção de calor nos processos químicos. Quando várias substâncias se reúnem na constituição de um composto químico é produzida sempre a mesma quantidade de calor independentemente da ordem da combinação ou da natureza dos produtos intermédios.<sup>302</sup> A quantidade de calor desenvolvida pelos processos químicos seria a quantidade da *vis viva* produzida por quantidades específicas das forças químicas de atracção. Também é explicada pela teoria o desaparecimento de calor, onde é aludida a experiência de Joule de 45 com produção de trabalho.<sup>303</sup>

Por último, Helmholtz vai considerar a produção de calor nos fenómenos eléctricos.

A aplicação do princípio de Helmholtz à electricidade pode ser exemplificada da seguinte maneira. Consideremos duas cargas unitárias de sinal contrário. A força entre elas é proporcional às cargas e inversamente proporcional ao quadrado da distância. O aumento da *vis viva* devido a qualquer movimento é igual ao aumento da força de tensão no final do movimento em relação ao seu valor inicial. Ou seja, a variação da *vis viva* é dada pela diferença entre as forças de tensão.

A parte final e mais breve do artigo diz respeito aos seres vivos. As plantas teriam uma grande quantidade de forças de tensão químicas e absorveriam uma única forma de forças

---

<sup>300</sup> “Das, was bisher Quantität der Wärme genannt worden ist, würde hiernach der Ausdruck sein erstens für die Quantität der lebendigen Kraft der Wärmebewegung, und zweitens für die Quantität derjenigen Spannkkräfte in den Atomen, welche bei einer Veränderung ihrer Anordnung eine solche Bewegung hervorbringen können; der erstere Theil würde dem entsprechen, was bisher freie, der zweite dem, was latente Wärme genannt ist” (Helmholtz 1847: 35).

<sup>301</sup> “(...) auch ist für unseren Zweck die Einsicht der Möglichkeit hinreichend, dass die Wärmeerscheinungen als Bewegungen gefasst werden können” (Helmholtz 1847: 36).

<sup>302</sup> “so folgte hieraus das Gesetz, welches man auch theilweise in der Erfahrung bewahrheitet hat, dass nämlich bei der chemischen Verbindung mehrerer Stoffe zu gleichen Producten stets gleich viel Wärme hervorgebracht werde, in welcher Ordnung und in welchen Zwischenstufen auch die Verbindung vor sich gehen möge” (Helmholtz 1847: 36-7).

<sup>303</sup> “Ob bei der Erzeugung mechanischer Kraft Wärme verschwinde, was ein nothwendiges Postulat der Erhaltung der Kraft sein würde, ist noch niemals gefragt worden. Ich kann dafür nur einen Versuch von Joule anführen, der ziemlich zuverlässig zu sein scheint. Derselbe fand nämlich, dass die Luft bei dem Ausströmen aus einem Behälter (...) das umgebende Wasser um 4°,085 F. erkältete, sobald sie in die Atmosphäre ausströmte, also deren Widerstand zu überwinden hatte” (Helmholtz 1847: 37).

vivas durante o crescimento, a radiação da luz solar. Porém, não existiam indicações que permitissem expressar o equivalente da força.<sup>304</sup>

Em relação aos animais havia mais indicações, pois eles gastavam uma certa quantidade de forças de tensão químicas e produziam movimento e calor.

Os animais consomem oxigénio e libertam dióxido de carbono no processo de combustão tal como as plantas. Eles gastam uma certa quantidade de forças de tensão químicas e produzem calor e trabalho, mas a quantidade de calor representa uma pequena fracção do trabalho, pelo que não é possível estabelecer uma equivalência.<sup>305</sup>

### III.2. Historiografia sobre Helmholtz

Segundo Kuhn (1959) teria havido uma influência da *Naturphilosophie* em Helmholtz.<sup>306</sup> Holton (2002) também defende esta influência.

Alguns historiadores da ciência têm criticado esta influência.

---

<sup>304</sup> “Vornehmlich wird in ihnen eine mächtige Quantität chemischer Spannkräfte deponirt, deren Aequivalent uns als Wärme bei der Verbrennung der Pflanzensubstanzen geliefert wird. Die einzige lebendige Kraft (...) Es fehlen uns indessen noch alle Angaben zur näheren Vergleichung der Kraftäquivalent, welche hierbei verloren gehen und gewonnen werden“ (Helmholtz 1847: 66).

<sup>305</sup> “Für die Thiere haben wir schon einige, nähere Anhaltspunkte. Dieselben nehmen die complicirten oxydablen Verbindungen, welche von den Pflanzen erzeugt werden, und Sauerstoff in sich auf, geben dieselben theils verbrannt als Kohlensäure und Wasser, theils auf einfachere Verbindungen reducirt wieder von sich, verbrauchen also eine gewisse Quantität chemischer Spannkräfte und erzeugen dafür Wärme und mechanische Kräfte (...) so reducirt sich die Frage nach der Erhaltung der Kraft ungefähr auf die (...) Diese Frage kann nach den Versuchen von Dulong und Despretz wenigstens annähernd bejaht werden“ (Helmholtz 1847: 66).

<sup>306</sup> “A *Naturphilosophie* podia, por conseguinte, ter fornecido um fundamento filosófico apropriado para a descoberta da conservação da energia. Além disso, muitos pioneiros conheciam pelo menos os seus elementos essenciais. (...) O pai de Helmholtz, um íntimo do jovem Fichte e um *Naturphilosoph* menor por direito próprio, exortou constantemente o filho a abandonar o mecanismo estrito. (...) Se for demonstrada, a influência da *Naturphilosophie* também pode ajudar a explicar por que razão este grupo particular de cinco alemães, um dinamarmaquês e um alsaciano, inclui cinco dos seis pioneiros em cujas abordagens à conservação da energia assinalámos anteriormente lacunas conceptuais tão marcadas” (Kuhn 2009: 128-9).

Heimann (1974) nega uma influência da *Naturphilosophie* em Helmholtz.<sup>307</sup>

Bevilacqua (1993) também critica Kuhn quanto a uma influência da *Naturphilosophie* em Helmholtz. Ele sustenta que a introdução do artigo de 1847 reflecte uma influência do transcendentalismo kantiano e não da *Naturphilosophie*.<sup>308</sup> O autor acrescenta que os elementos de influência kantiana presentes no artigo de 1847 não devem ser confundidos com aspectos ontológicos típicos da *Naturphilosophie*.<sup>309</sup>

A tese de Kuhn pode ser refutada tendo em conta o seguinte argumento.

Helmholtz constrói um modelo teórico da natureza cognoscível pelo sujeito cognoscente em ciência mas não reduz os fenómenos a uma força originária comum como é a tese defendida pela *Naturphilosophie*.<sup>310</sup> Ele reduz os fenómenos a duas forças abstractas, forças de tensão e forças vivas. Não há uma força originária comum na raiz dos fenómenos mas trata-se de um modelo conceptual de duas forças que rege todos os fenómenos. É neste sentido que não há uma influência da *Naturphilosophie*.

Os historiadores da ciência têm também estudado outros aspectos sobre o artigo de 1847 de Helmholtz.

Elkana (1974) mostra uma conexão entre passagens da introdução do artigo de 1847 e a *Crítica da Razão Pura*, denotando uma influência kantiana em Helmholtz (Elkana 1974, pp. 166-7).

O autor estabelece uma comparação da passagem de Kant “a ideia de causalidade conduz ao conceito de acção, este ao conceito de força e daí ao conceito de substância. A substância matéria não é concebível como tal mas apenas através das suas forças e acção”. (Elkana p.167) com as seguintes passagens do artigo de 1847 de Helmholtz:

---

<sup>307</sup> “If Helmholtz had read Fries, his well-known aversion to *Naturphilosophie* would have been reinforced by Fries diatribes against the ‘dreams’ of *Naturphilosophie*” (Heimann 1974: 231).

<sup>308</sup> “that he did not censor but rather reinstated the *Erhaltung*’s philosophical introduction before publication and that Kantian transcendentalism, not *Naturphilosophie*, played the main philosophical role” ( Bevilacqua 1993: 296).

<sup>309</sup> “The methodological role of Kantian, as well as Leibnizian, elements in Helmholtz’s 1847 essay should not be confused with ontological commitments typical of *Naturphilosophie*” (Bevilacqua 1993: 294).

<sup>310</sup> “According to Nature Philosophy, the various phenomena and forces of nature-such as gravity, electicity, and magnetism-are not really separate from one another but are all manifestations of some unifying “basic” natural force” (Cassiday; Holton; Rutherford 2002: 275).

”Todas as acções na natureza podem ser ultimamente referidas a forças de atracção e repulsão, cuja intensidade depende apenas da distância entre os pontos onde as forças são exercidas;

(...) A parte teórica da ciência natural procura, pelo contrário, as causas desconhecidas dos processos das acções visíveis que eles apresentam; procura compreender estes processos de acordo com a lei da causalidade. Nós somos justificados, e impelidos neste procedimento, pela convicção de que toda a mudança na natureza deve ter uma causa suficiente;

(...) Para a matéria, não devemos descrever diferenças qualitativas, para quando falarmos de diferentes tipos de matéria referirmo-nos a diferenças de acção, a diferenças nas forças da matéria;

(...) Na aplicação das ideias de matéria e força à natureza, as duas primeiras nunca devem ser separadas (...) a matéria é apenas discernível pelas suas forças, e não por si só;

(...) A única alteração possível a um sistema é uma alteração de posição, movimento; assim as forças podem ser apenas forças vivas dependentes na sua acção sob condições do espaço”.<sup>311</sup>

E o autor acrescenta que a conexão entre Kant e Helmholtz é mais claramente observada se comparamos as seguintes passagens, a primeira da *Crítica da Razão Pura*: “Só conhecemos a substância no espaço por intermédio de forças que agem nesse espaço, quer para trazer para ele outras forças (atração), quer para evitar a sua penetração (repulsão ou impenetrabilidade)” (Kant 1997, A 265; B 321). A outra, retirada do artigo de 1847 de Helmholtz: “Os fenómenos da natureza são referidos a movimentos de partículas materiais possuindo forças vivas imutáveis (...) Uma força viva que exerce uma na outra pode apenas

---

<sup>311</sup> “Alle Wirkungen seien in der Natur zuruckzufuehren auf anziehende und abstossende Kraefte, deren Intensitaet nur von der Entfernung der auf einander wirkenden Punkte abhaengt. (...) Der theoretische Theil derselben (der Naturwissenschaften), sucht dagegen die mechanischen Ursachen der Vorgaenge aus ihrensichtbaren Wirkungen zu finden; er sucht dieselben zu begreifen nach dem Gesetz der Causalitaet. Wir werden genoethigt zu diesem Geschaefte durch den Grundsatz, dass jede Veraenderung in der Natur eine zureichende Ursache haben muesse. (...) Qualitative Unterschiede duerfen wir der Materie an sich nicht zuschreiben denn wenn wir von verschiedenartigen Materien sprechen, so setzen wir ihre Verschiedenheit immer nur in die Verschiedenheit ihrer Wirkungen, d. H. In ihre Kraefte. (...) Die Begriffe von Materie und Kraft in der Anwendung auf die Natur nie getrennt werden duerfen ... wir koennen ja die Materie den nur ihre Kraefte, nie an sich selbst, wahrnehmen. (...) Bewegungen und die aeusseren Verhaeltnisse, durch welche die Wirkung der Kraefte modofiziert wird, koennen nur noch raeumliche sein, also die Kraefte nur Bewegungskraefte, abhaengig in ihrer Wirkung nur von den raeumlichen Verhaeltnissen” (Elkana 1974: 166).

agir para causar uma alteração das suas distâncias, isto é, ela deve ser atractiva ou repulsiva.<sup>312</sup>

A tese expressa nestas passagens é de que todos os fenómenos da natureza são reduzidos a duas forças imutáveis, as forças atractivas e repulsivas. Só temos conhecimento dos fenómenos através das suas forças. E o papel da ciência teórica consiste na procura destas forças últimas segundo o princípio da causalidade, condição da completa inteligibilidade da natureza.<sup>313</sup>

Acrescemos a continuação da passagem de Kant: “(...) não conhecemos outras propriedades, que constituam o conceito da substância que aparece no espaço, e que denominamos matéria” (Kant 1997 A 265; B 321).

A matéria é em si incognoscível.

O princípio de causalidade em Helmholtz tem influências kantianas. Este princípio é um princípio da mente humana que é anterior a toda a experiência e que está de acordo com o conceito de causalidade kantiano como uma condição transcendental. Para Kant o princípio de causalidade estabelece a lei transcendental da natureza. Assim para Helmholtz, a natureza é causalmente e sistematicamente estruturada.

Heimann (1974) defende que a introdução do artigo de 1847 de Helmholtz reflecte uma considerável influência kantiana, particularmente o princípio de causalidade.<sup>314</sup> O princípio de causalidade é simplesmente equivalente à lei de todos os fenómenos naturais, entendida como poder objectivo, força.<sup>315</sup>

---

<sup>312</sup> “Die Naturerscheinungen sollen zurueckgefuehrt werden auf Bewegungen von Materien mit unveraenderlichen Bewegungskraeften ... Eine Bewegungskraft welche sie gegen einander ausueben, kann deshalb auch nur Ursache zur Aenderung ihrer Entfernung sein, d. h. eine anziehende oder abstossende” (Elkana 1974: 167).

<sup>313</sup> “Thus it is clear that Helmholtz tried to reduce causality to lawfulness and demanded as a first aim of science ‘to reduce all phenomena of nature to the unchangeable forces of attraction and repulsion...’; asserting that ‘the solubility of this problem is the condition for a complete comprehensibility of nature’” (Elkana 1974: 169).

<sup>314</sup> “Helmholtz there points out that the philosophical discussion in the Introduction had been considerably influenced by Kant” (Heimann 1974: 219).

<sup>315</sup> “he now holds that the principle of causality is simply equivalent to the lawlikeness (...) of all natural phenomena. But ‘law’, understood in the sense of ‘objective power’, is just what we call force” (Heimann 1974: 219).



O princípio de causalidade não só torna a experiência possível como a própria experiência tem um carácter de lei.<sup>316</sup> O princípio de causalidade é um princípio transcendental e uma lei teórica. Heimann diz que Helmholtz nunca distinguiu claramente entre causalidade como uma condição transcendental e causalidade como uma condição de possibilidade das leis empíricas como membros de teorias sistemáticas<sup>317</sup>

A lei teórica é condição da compreensibilidade e inteligibilidade das leis empíricas.<sup>318</sup>

Para Helmholtz, a inteligibilidade da natureza requer a redução dos fenómenos às leis newtonianas de forças centrais.<sup>319</sup> Este aspecto tem afinidades com a intenção de Kant em demonstrar a possibilidade da ciência newtoniana.

Também Heimann sustenta que *Ueber die Erhaltung der Kraft* foi geralmente entendido como uma formulação matemática do princípio da conservação da energia.<sup>320</sup> Helmholtz reduz todos os fenómenos naturais a duas forças centrais Newtonianas de atracção e repulsão cuja intensidade depende da distância.<sup>321</sup>

Helmholtz refere-se à lei da conservação da força para denotar a indestrutibilidade das forças naturais, que são as forças centrais newtonianas de atracção e repulsão. E o papel da ciência é reduzir todos os fenómenos naturais a estas forças imutáveis de atracção e repulsão cuja intensidade depende da distância.<sup>322</sup> A redução dos fenómenos naturais a estas duas

---

<sup>316</sup> “Moreover, the principle of causality not only makes experience possible but experience itself in some sense comes to possess a lawlike character. Kant thus asserts that the principle of causality (together with the other categories) establish the transcendental lawlikeness of nature: ‘nature ... is dependent upon these categories at the original grounds of its necessary conformity to law’” (Heimann 1974: 222).

<sup>317</sup> “Now it seems most unlikely that Helmholtz never distinguished clearly between causality as a transcendental condition and causality as a condition of the possibility of empirical laws as members of systematic theories” (Heimann 1974: 223).

<sup>318</sup> “Theoretical lawlikeness is thus a presupposition of the comprehensibility of empirical laws *qua* laws: ‘without this presupposition we should have no order of nature in accordance with empirical laws’” (Heimann 1974: 222-3).

<sup>319</sup> “His fundamental assumption was that the reduction of phenomena to central forces was the condition of the complete intelligibility of nature” (Heimann 1974: 229).

<sup>320</sup> “*Ueber die Erhaltung der Kraft* was more commonly regarded as providing a mathematical formulation of the principle of energy conservation” (Heimann 1974: 206).

<sup>321</sup> “he argued that these forces were Newtonian central forces so that ‘the problem of physical science is to reduce natural phenomena to unalterable forces of attraction and repulsion, whose intensity depends on the distance’” (Heimann 1974: 207).

<sup>322</sup> “In nevertheless here retaining the use of the expression the ‘law of the conservation of force’ Helmholtz indicated that this was an appropriate expression to denote the indestructibility of ‘natural forces’(...) Moreover, he argued that these forces were Newtonian central forces so that ‘the problem of physical science is to reduce

forças é condição da completa compreensibilidade da natureza.<sup>323</sup> A conformidade da natureza às leis newtonianas seria o único sistema explicativo possível.<sup>324</sup>

Fullinwider (1990) sustenta que em Helmholtz a causalidade não é uma categoria do entendimento no sentido kantiano mas uma inferência indutiva derivada da experiência e como uma mera hipótese de que é necessário fazer sentido ao mundo experienciado.<sup>325</sup> A lei imposta pela constituição cognitiva impõe as suas formas à experiência e as formas do entendimento são expressões da lei teórica. E esta constituição cognitiva é um processo fisiológico regido pela lei teórica.<sup>326</sup> O autor acrescenta que em Helmholtz, o objecto fenomenal permanece um objecto num fraco sentido. Apenas a lei teórica é objectiva num forte sentido.<sup>327</sup>

Tal como Fullinwider defende, para Helmholtz, os fenómenos são entidades abstractas com fraco sentido de objecto, tendo a lei teórica, a lei de causalidade, o forte sentido de objecto. A lei de causalidade entendida como força é o fenómeno kantiano. É neste sentido que pode dizer-se que Helmholtz embora influenciado pela filosofia kantiana tem uma posição inovadora. Ele usa esta filosofia como uma teoria explicativa da natureza.

Também a lei teórica tendo um forte sentido de objecto testemunha este carácter teórico do pensamento de Helmholtz.

Fullinwider também sustenta que em Helmholtz a ordem necessária que supomos existir na natureza é de certa forma idêntica à que é imposta pela nossa constituição

---

natural phenomena to unalterable forces of attraction and repulsion, whose intensity depends on the distance” (Heimann 1974: 206-7).

<sup>323</sup> “the subsumption of natural phenomena under central force explanations was for him ‘the condition of the complete comprehensibility of natural phenomena’ and was therefore ‘the necessary conceptual form for understanding nature.’” (Heimann 1974: 208).

<sup>324</sup> “It thus became his concern to provide an account of the conformity of nature to Newtonian laws was the only possible explanatory system.” (Heimann 1974: 208).

<sup>325</sup> “(...) Helmholtz came to see causality not as a category of the understanding in the Kantian sense but as an inductive inference derived from experience and as a mere hypothesis that is necessary to make sense of the experienced world” (Fullinwider 1990: 43).

<sup>326</sup> “But Helmholtz took the view that the cognitive constitution that imposes its forms to create experience is itself a physiological process lying squarely within the realm of theoretical lawlikeness, and that the forms of the understanding are themselves expressions of theoretical lawlikeness” (Fullinwider 1990: 43).

<sup>327</sup> “For Helmholtz, the phenomenal object remained an object in the weak sense. Only (theoretical) lawlikeness is objective in the strong sense” (Fullinwider 1990: 42).

cognitiva.<sup>328</sup> A coisa em si é significada pela ordem necessária expressa pela lei natural que rege todos os fenómenos na natureza. O mundo actual ou da teoria opõe-se ao das sensações e é o primeiro que consistindo de forças que nós entendemos por lei teórica que rege o segundo.<sup>329</sup>

O autor acrescenta que Helmholtz não distingue entendimento de razão. Para ele, a inferência indutiva inconsciente é o início e a base da cognição e pensamento.<sup>330</sup>

Heidelberger (1993) defende que Helmholtz foi fundamentalmente influenciado pela metafísica da natureza de Kant e que ele advoga um realismo metafísico, em que a ciência lida com uma realidade que é inacessível aos nossos sentidos.<sup>331</sup>

O autor sustenta que para Helmholtz as forças existiam realmente não sendo meros conceitos ou ficções e estavam para além dos fenómenos. Porém, ele atribui um *status* metafísico à matéria e à força, na medida em que elas não são dadas na experiência e apenas temos acesso a elas indirectamente através dos seus efeitos observáveis.<sup>332</sup>

Em Helmholtz, só temos conhecimento dos fenómenos através do modo como eles nos aparecem, através das forças. As forças são os fenómenos kantianos e os fenómenos, a matéria, os númenos kantianos. Para Helmholtz, os fenómenos estão em conformidade com duas forças abstractas sendo os próprios fenómenos também entidades abstractas. Há um modelo conceptual da natureza. Helmholtz constroi um modelo teórico do mundo apenas acessível ao sujeito cognoscente em ciência.

---

<sup>328</sup> “The issue here is whether the necessary order that we suppose to exist in nature is in some way identical with that which has been imposed by our cognitive constitution” (Fullinwider 1990: 41).

<sup>329</sup> “(..) by the thing in itself he had come to mean the hypothetically necessary order in nature as expressed by natural law: science teaches us that the “actual” (as opposed to the world of our sensations) consists of forces and their transformations, but by “force” we mean (theoretical) lawlikeness” (Fullinwider 1990: 41).

<sup>330</sup> “(...) Helmholtz made no such distinction between the understanding and reason. For him the unconscious inductive inference is the beginning of and basis for both cognition and thought” (Fullinwider 1990: 42).

<sup>331</sup> “Helmholtz philosophy and methodology of science were far more influenced by Kant’s metaphysics of nature (...) Through Kant’s influence, Helmholtz came to advocate a metaphysical realism with respect to the ontology of scientific theories. According to this view, science deals ultimately with a reality that is inaccessible to our senses” (Heidelberger 1993: 462).

<sup>332</sup> “He believed that neither matter nor (constant) force were mere concepts or fictions “which do not correspond to anything real”. On the contrary, forces really exist and stand behind, so to speak, the phenomena. In short, Helmholtz was a realist in relation to force and matter. However, he also ascribed a metaphysical status to matter and force: neither matter nor its forces appear, that is, they are not given in experience. He argued that we can only know them indirectly by inferring their nature from their observable effects” (Heidelberger 1993: 464-5).

Segundo Leroux (1996), para Helmholtz, a lei da causalidade é na realidade uma lei transcendental, uma lei que é dada *a priori*. É impossível prová-la pela experiência e mesmo os mais elementares níveis da experiência são impossíveis sem a lei da causalidade.<sup>333</sup>

O carácter transcendental da causalidade subjaz à teoria da percepção de Helmholtz. Há a ideia básica de que a relação temporal é a única em que pode haver concordância entre as percepções e a realidade. Esta teoria postula a existência de uma relação causal entre as nossas sensações e os objectos externos. As nossas sensações são os efeitos causados pelos objectos externos que excitam os nossos órgãos dos sentidos. Há um isomorfismo, uma relação estrutural de identidade, entre a sequência de sensações internas e a sequência das suas causas externas. É o realismo nomológico.<sup>334</sup>

Este isomorfismo é consequência do carácter transcendental da causalidade. Todos os fenómenos naturais são regidos por uma lei causal. A lei teórica é condição da inteligibilidade das leis empíricas.

Podemos dizer tal como Heimann que a tese principal de Helmholtz é a de que todos os fenómenos da natureza são reduzidos a duas forças imutáveis segundo a lei da causalidade. De acordo com Leroux, esta lei é uma lei transcendental que é anterior a toda a experiência e que rege toda a experiência. Trata-se de uma lei que é formulada no pensamento humano, uma lei teórica, condição da completa inteligibilidade da natureza.

Podemos acrescentar que Helmholtz recorre à filosofia kantiana como modo explicativo para a sua teoria e não como um primeiro passo. Ou seja, ele constroi a sua teoria e tem necessidade de a fundamentar, facto pelo qual recorre à tese de duas forças imutáveis na raiz de todos os fenómenos naturais. Ele não estuda primeiro a filosofia kantiana e depois formula a sua teoria.

Porque é que são duas forças e não apenas uma?

Helmholtz explica a diferença entre forças de tensão, de repouso e forças vivas, de movimento. Quando dois corpos estão em repouso e têm tendência a movimentar-se, temos as

---

<sup>333</sup> “”The law of causality”, writes Helmholtz, “is in reality a transcendental law, a law which is given a priori. It is impossible to prove it by experience, for (...) even the most elementary levels of experience are impossible (...) without the law of causality”” (Leroux 1996:287).

<sup>334</sup> “What we have called above Helmholtz’s “nomological realism” follows quite directly from his transcendental viewpoint on causality, his semiotic conception of perception and the basic idea that the temporal relation is the only respect in which there can be an agreement between perceptions and reality. (...) In contemporary terms, we could say that the relation between the sequence of internal sensations and the sequence of their external causes is a relation of structural identity or isomorphism (Leroux 1996: 289-90).

forças de tensão; quando os corpos estão em movimento, temos as forças de movimento, as forças vivas. A causa da mudança, da diversidade é o movimento. Ora, se fosse apenas uma força, a diversidade não teria lugar pois as coisas ou estavam sempre em repouso ou sempre em movimento. Pelo princípio da contradição, os dois estados não poderiam coexistir.

### III.3. Helmholtz e Mayer

A historiografia tradicional da física atribui a Mayer, Helmholtz, Joule e Colding a descoberta do princípio da conservação da energia.

Kuhn atribui a descoberta do princípio da conservação da energia a doze cientistas europeus entre os quais Mayer e Helmholtz.<sup>335</sup>

Caneva,<sup>336</sup> Heimann, entre outros, atribuem a Mayer o mérito da descoberta do princípio da conservação da energia.

Elkana sustenta que foi Helmholtz quem formulou matematicamente pela primeira vez o princípio da conservação da energia, atribuindo-lhe o mérito da descoberta deste princípio.<sup>337</sup> Isto faz variar o sentido de energia.

Podemos dizer que em Mayer, a conservação da energia é explicada pela equivalência entre grandezas. Em Helmholtz, a conservação da energia é entendida em termos abstractos,

---

<sup>335</sup> “Entre 1842 e 1847, a hipótese da conservação da energia foi publicamente anunciada por quatro cientistas europeus amplamente dispersos- Mayer, Joule, Colding e Helmholtz-, todos, excepto o último, trabalhando em completa ignorância dos outros ” (Kuhn 1977: 95).

<sup>336</sup> “And Heimann insisted even more strongly that seeing Mayer simply as one of the codiscoverers of energy conservation has continued to distort our understanding of his work and intentions. Yet this general appreciation has not led to a deeper understanding of Mayer’s work, in large part, I suspect, because no one has known quite how to exploit it in rendering intelligible the particulars of Mayer’s process of discovery, of whatever it was he discovered!” (Caneva 1993: xv-xvi).

<sup>337</sup> “It is admitted by all, that the man who formulated the principle for the first time mathematically, in all its generality, was Hermann von Helmholtz, and thus necessarily this essay on the emergence of the energy concept will centre around him” (Elkana 1974: 9).

como resultado de um reducionismo de todos os fenómenos à mecânica. A energia é assim subsumida pela mecânica.

Pode dizer-se que Helmholtz formula o princípio da conservação da energia em termos matemáticos. Mayer estende este princípio ao domínio orgânico no livro de 45, entendendo a dinâmica da conservação da energia no domínio orgânico. Baseado na teoria do oxigénio e da respiração de Lavoisier, Mayer entende a conservação da energia no domínio biológico como uma equivalência entre o consumo de oxigénio e a produção de dióxido de carbono.

Helmholtz distingue-se de Mayer em diversos aspectos.

Enquanto Mayer lida com observáveis, Helmholtz tem por base duas forças que não têm de ser observáveis. Assim, Mayer pode aproveitar os resultados empíricos e estabelecer uma relação entre o consumo de alimentos e a actividade realizada. Helmholtz precisaria de informações que permitissem a conexão dos fenómenos com as forças de tensão e forças vivas no interior dos seres vivos. Apesar de existir uma relação entre as forças de tensão químicas e as forças vivas, falta o elemento informativo para a sua conexão com os fenómenos. Tal dificuldade reside no facto de Helmholtz pensar os fenómenos em termos abstractos.



Fig 13

Em Mayer, a relação entre os observáveis é um modelo conceptual



Fig 17

Em Helmholtz, os fenómenos e as forças de tensão e forças vivas são modelos conceptuais

Para Helmholtz, todos os fenómenos físicos e orgânicos são reductíveis à mecânica. O conceito fundamental em fisiologia é a força viva que é redutível à mecânica.

Podemos dizer que em Helmholtz há um reducionismo dos fenómenos a duas forças, as forças de atracção e as forças repulsivas, cuja intensidade depende apenas da distância entre os pontos onde elas se exercem.<sup>338</sup> Porém, este reducionismo é uma consequência natural do seu modelo conceptual.

### Causas

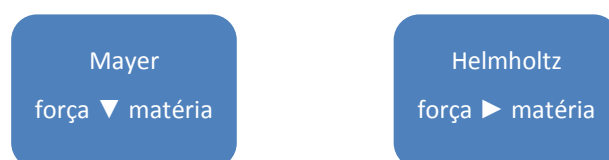


Fig 18

Em Mayer, a matéria é independente da força. Em Helmholtz, há uma dependência da força em relação à matéria

<sup>338</sup> “In his celebrated youthful work “On the Conservation of Force: a Physical Memoir” (...) Helmholtz looks for expressions for the new way of conceiving of natural phenomena (...) either from the principle that is impossible to obtain an unlimited amount of force for doing work from the effects upon each other of any combination of natural bodies, or from the assumption that all actions in nature can be reduced to attractive and repulsive forces whose intensity depends only on the distance between the points acting upon one another” (Helm 2000: 91-92).

Para Helmholtz, as causas últimas são indestrutíveis e imutáveis mas a mudança é concebida pelo movimento. Em Mayer, as causas são indestrutíveis e mutáveis mas a mudança é concebida pela transformação.

Mayer consegue estabelecer uma equivalência entre fenómenos biológicos como a oxidação dos músculos e fenómenos físicos como a experiência de Gay-Lussac. Apenas a relação entre estes fenómenos é abstracta. Trata-se de uma teoria que está subjacente a toda a fenomenologia e que permite o seu tratamento. O tratamento dos dados é teórico mas os fenómenos são observáveis.

Em Helmholtz, os fenómenos são reduzidos a modelos conceptuais, carecendo de uma conexão entre o modelo conceptual e os observáveis à excepção da queda dos corpos.

Para Helmholtz, as forças imutáveis são o que há de indestrutível na matéria e não são entidades independentes da matéria como em Mayer. Porém, a unidade entre a física e a química é apenas em termos abstractos. Os elementos são indestrutíveis e por isso indivisíveis em unidades mais simples.

Outro aspecto no quadro da comparação entre os autores é que Mayer não recorre a causas últimas que são imutáveis. Para ele, as causas são mutáveis na forma e a diversidade é dada pela transformação. Helmholtz precisa de uma outra categoria para explicar a diversidade, o movimento. Mayer no livro de 51 diz que nada podemos dizer sobre a essência dos fenómenos. Apenas temos factos.

Para Helmholtz, toda a realidade se reduz a duas causas imutáveis que estão no pensamento humano, na teoria. A diversidade desse mesmo mundo imaginário ou abstracto é conferida pelo movimento. Mayer coloca-se no plano dos factos dizendo que nada se pode dizer acerca da essência das coisas. Mayer consegue desta forma resolver habilmente o problema da causalidade enquanto essência, causa comum a todos os fenómenos naturais. Desta forma, fica dificultada a tese de uma influência da *Naturphilosophie* em Mayer.

Outro aspecto é que Mayer lida com o mundo dos fenómenos e estabelece analogias entre os fenómenos e os modelos teóricos que são o seu fundamento. Há um elo entre a teoria e os fenómenos.

Para Mayer há dois tipos de causas separáveis, a matéria e a força. De facto, Mayer não está interessado na natureza dos fenómenos, nomeadamente o calor, mas lida com observáveis. Apenas pensa a relação entre os fenómenos em termos abstractos. Helmholtz considera a matéria e a força, causas inseparáveis e abstracções.



Também o princípio de causalidade é diferente em Mayer e Helmholtz. Em Mayer há dois tipos de causas separáveis, a matéria mutável e a força imutável em quantidade. Em Helmholtz as causas são inseparáveis havendo um percurso e dependência entre a matéria mutável e a força imutável. Em Mayer, apesar da causa ser igual ao efeito não há esta dependência entre as causas, a matéria e a força. Elas são separáveis.

Não se pode falar de uma causalidade no sentido de uma causa que precede o efeito em Mayer. A causa é igual ao efeito e a passagem de um a outro é transformação. Podemos dizer que ele resolve a questão da causalidade colocando-se no plano dos factos.

Em Helmholtz, todos os fenómenos da natureza são reduzidos a duas forças fundamentais, as forças de tensão e as forças vivas, segundo o princípio da causalidade. A lei da causalidade é uma lei transcendental, a priori, portanto anterior a toda a experiência. Há uma relação causa-efeito na experiência imposta pelas formas a priori do entendimento, causa e efeito.

### **III.4. Conclusão**

Com base no texto de Helmholtz, apresentamos as seguintes teses:

- no artigo de 1847 é defendida a tese, existirem duas forças últimas na natureza, forças vivas e forças de tensão, cuja soma é constante.

- a argumentação do artigo consiste em mostrar que os fenómenos estão em conformidade com a admissão das duas forças, o que é feito de forma genérica em relação aos seres vivos. A fundamentação destas forças é filosófica.

- Helmholtz reduz a explicação de todos os fenómenos a duas forças-causas abstractas, as forças de tensão e as forças vivas. Há uma redução de todos os fenómenos às duas causas-forças segundo o princípio de causalidade. E esta redução de todos os fenómenos da natureza às duas forças fundamentais é condição para a completa inteligibilidade da natureza.

Passemos às principais teses da historiografia. Há historiadores que defendem a influência da *Naturphilosophie* no pensamento de Helmholtz enquanto outros a negam. Kuhn

propô-la em 1959. Contrariamente à tese de Kuhn, Heimann (1974), Bevilacqua (1993) negam uma influência da *Naturphilosophie* na concepção de Helmholtz. Bevilacqua defende que a introdução do artigo de 1847 reflecte uma influência do transcendentalismo kantiano e não da *Naturphilosophie*.

Para corroborar a não influência da *Naturphilosophie* no pensamento de Helmholtz mostrada no nosso estudo podemos acrescentar que a tese de Kuhn pode ser refutada tendo em conta o seguinte argumento. Helmholtz constroi um modelo teórico da natureza cognoscível pelo sujeito cognoscente em ciência mas não reduz os fenómenos a uma força originária comum como é a tese defendida pela *Naturphilosophie*. Ele reduz os fenómenos a duas forças abstractas, forças de tensão e forças vivas. Não há uma força originária comum na raiz dos fenómenos mas trata-se de um modelo conceptual de duas forças que rege todos os fenómenos.

Há historiadores que defendem uma influência de Kant no pensamento de Helmholtz. Elkana em 1974 mostra uma conexão entre passagens da introdução do artigo de 1847 de Helmholtz com a Crítica da Razão Pura. Heimann (1974) corrobora esta influência sustentando que a introdução do artigo de 1847 de Helmholtz reflecte uma considerável influência kantiana, particularmente o princípio de causalidade. Segundo Leroux (1996), para Helmholtz, a lei da causalidade é na realidade uma lei transcendental, uma lei que é dada *a priori*.

Há historiadores (Heimann 1974; Fullinwider 1990) que sustentam que para Helmholtz o princípio de causalidade é simultaneamente um princípio transcendental, *a priori*, e uma lei teórica, uma lei do pensamento humano, e por isso não é uma categoria do entendimento no sentido kantiano. Não é um *a priori* puro. Ele deriva indutivamente da experiência apesar de ser um dado *a priori* que antecede toda a experiência.

Fullinwider (1990) defende que para Helmholtz, a ordem necessária que supomos existir na natureza é de certa forma idêntica à que é imposta pela nossa constituição cognitiva. A coisa em si é significada pela ordem necessária expressa pela lei natural que rege todos os fenómenos na natureza. O mundo actual ou da teoria opõe-se ao das sensações e é o primeiro que consistindo de forças que nós entendemos por lei teórica que rege o segundo. O autor acrescenta que em Helmholtz, o objecto fenomenal permanece um objecto num fraco sentido. Apenas a lei teórica é objectiva num sentido forte.

Acrescemos às teses apresentadas pelos historiadores da ciência que um aspecto interessante é verificar que Helmholtz recorre a este princípio filosófico para explicar todos os fenómenos da natureza. Ele não consegue visualizar as forças últimas que são abstractas nos fenómenos de calor ou electromagnéticos, por exemplo. Mas com base nelas, ele explica todos os fenómenos na natureza e os dois estados possíveis, o repouso e o movimento. As forças de tensão que dependem da distância entre os corpos ligam-se com o repouso e as forças vivas, com o movimento.

Assim, o importante não é apenas mostrar o princípio filosófico subjacente ao pensamento de Helmholtz mas o modo como ele o utiliza como meio de explicação dos fenómenos. Este é o carácter inovador do pensamento de Helmholtz. Helmholtz recorre à filosofia kantiana como modo explicativo para a sua teoria e não como um primeiro passo. Ou seja, ele constroi a sua teoria e tem necessidade de a fundamentar, facto pelo qual recorre à tese de duas forças imutáveis na raiz de todos os fenómenos naturais.

## Cap. IV. Discussão filosófica sobre Mayer e Helmholtz: breves notas

Mayer recorreu aos princípios “causa igual ao efeito” em 1842 e a “nada vem do nada”, “nada se torna em nada” em 1845. Estas são as suas bases filosóficas e do que viria a ser a conservação da energia.

Helmholtz usa o princípio de causalidade, o de razão suficiente, transferiu para a relação matéria-força a relação númeno-fenómeno de Kant, e usou ainda o princípio de que não há força duradoura a partir do nada.

Rankine usou a distinção actual-potencial e substância-acidentes de Aristóteles. Com Lodge iniciou-se a substancialização da energia. Com Ostwald, a energia era o verdadeiro real.

Tudo isto são razões para o presente capítulo. Vamos começar com o conceito de causa.

### 1. Causalidade.

Os filósofos David Hume e Immanuel Kant trataram o conceito de causa com especial detalhe. Vamos apresentar sumariamente as suas teses, tanto quanto é conveniente para abordarmos o uso que é dado ao conceito em Mayer e Helmholtz.

Hume na *Investigação sobre o Entendimento Humano*, aborda a questão da causalidade. Ele refere “que as causas e os efeitos se podem descobrir, não pela razão, mas pela experiência” (Hume 1977, p. 17). Hume rejeita a relação determinista e temporal causa-efeito, segundo a qual todos os fenómenos são precedidos necessariamente por uma causa, da qual eles são os efeitos. O empirismo de Hume concebe a causalidade como um princípio *a posteriori* baseado na ideia de uma crença na experiência pela qual nós acreditamos nesta relação causal pelo hábito ou costume de repetições do mesmo acontecimento (Hume 1977, pp. 15-25).

Em Hume, nós criamos uma expectativa com base em eventos semelhantes relativamente a acontecimentos futuros. Hume diz: “Descobri que tal objecto foi sempre aguardado com tal efeito, e prevejo que outros objectos, que são aparentemente similares, serão aguardados com efeitos semelhantes” (Hume 1977, p. 22). A conjunção causa-efeito faz parte de uma expectativa baseada numa crença pelo hábito da repetição na experiência. Hume afirma: “há uma conexão entre o facto presente e o facto que é inferido dele” (Hume 1977, p. 16).

Como exemplo de causa-efeito em Hume: a vibração de uma corda é a causa de um som particular? Hume afirma: “esta vibração é seguida por este som e que todas as vibrações similares têm sido seguidas por sons semelhantes, ou que esta vibração é seguida por este som e que, em virtude do aparecimento de um, a mente antecipa os sentidos e forma imediatamente uma ideia do outro” (Hume 1977, p. 51). Tal exemplo é útil para ser clara a aplicação a Mayer: agitar água é causa de calor. Hume afirma. “a nossa ideia de necessidade e causação deriva inteiramente da uniformidade observável nas operações da natureza, em que objectos similares estão constantemente associados a outros e a mente é determinada pelo costume a inferir um a partir do aparecimento do outro” (Hume 1977, pp. 54-5). A vibração da corda e um som particular estão conectados e nós vemos o fenómeno pelo hábito de ver na experiência fenómenos semelhantes. Podemos transpor para Mayer este princípio mas em que a ideia de conexão entre os eventos é substituída pela ideia de transformação. Também em Hume, a causa e o efeito são inteiramente diferentes não tendo nenhum deles nada que exija necessariamente o outro.

Hume afirma que nunca podemos concluir que uma causa precede um efeito e que um é uma consequência do outro. Apenas podemos dizer que um segue o outro. Ele dá um exemplo: um impulso de uma bola de bilhar é esperado como movimento na segunda (Hume 1977, p. 41). Mayer como vimos apresenta o mesmo exemplo: se numa mesa de bilhar uma bola branca colide com uma vermelha, a branca perde a sua velocidade e a vermelha move-se com o movimento que a branca perdeu. Se se usasse a linguagem Mayeriana de 1842 dizia-se que a causa é igual ao efeito, a primeira transformou-se no segundo.

No exemplo de Mayer da bola de bilhar, é o movimento da primeira que acarreta o movimento da segunda, mas porque um se transforma no outro. A ideia de crença na experiência em Hume é substituída pela de transformação em Mayer. Hume critica o carácter

ôntico da causa. Em Mayer também não há um carácter ôntico da causa. A transformação é entendida como uma equivalência causa-efeito.

Em Mayer, não se pode falar de uma causalidade no sentido de uma causa que precede o efeito. A causa é igual ao efeito e a passagem de um a outro é transformação. Em Mayer temos duas fases: 1. Quando ele olha para os fenómenos e vê que movimento produz calor; 2. Quando ele já admite isto e pretende defender que uma quantidade se conserva. Se algo se conserva, mas o que vejo é diferente, então ele acrescenta a transformação. Este aspecto remete-nos para a questão da causalidade em Hume em que em Mayer a conexão entre os eventos é substituída pela ideia de transformação.

Tal como referido, em Hume há uma conexão entre os eventos conhecidos e desconhecidos e criamos uma expectativa com base na experiência relativamente a acontecimentos futuros e desconhecidos. Assim, podemos agora entender quando Mayer diz que uma coisa é igual a outra, são o mesmo, mas por outro lado, ele diz que uma coisa é igual ao outro, ao diferente.

Para Kant a ideia de causalidade é um conceito *a priori*, transcendental, independente da experiência. Mas são as formas puras do entendimento, causa-efeito, que regem a causa e o efeito na experiência. Em Kant, há uma relação causal necessária.

Helmholtz foi influenciado por Kant. Para Helmholtz, todos os fenómenos da natureza são reduzidos a duas forças fundamentais, as forças de tensão e as forças vivas, segundo o princípio da causalidade.

Em Helmholtz, a causalidade não é entendida como em Hume. Há uma relação causal necessária na experiência regida pelas formas *a priori* do entendimento, causa-efeito.

## 2. *Naturphilosophie*

A tese de Kuhn, Holton, Cassiday, Rutherford, de uma influência da *Naturphilosophie* na descoberta da conservação da energia foi considerada relativamente a Mayer no capítulo II. Por um lado, podemos ser levados a pensar que há uma influência clara pois a ideia duma força única na natureza se transfere facilmente para a conservação da energia. Por outro, não o podemos afirmar pois Mayer coloca-se no plano do observável, dizendo que nada se pode afirmar sobre a essência dos fenómenos e que apenas temos factos que são diversos. A causa ser igual ao efeito é entendido como uma equivalência entre diversos, nada se podendo dizer acerca da essência.

## 3. Substância

O conceito substância foi tratado com algum detalhe por Hume e Kant. Vamos apresentar sumariamente as suas teses, tanto quanto é conveniente para o uso do conceito em Lodge, Poynting e Ostwald.

Segundo Hume no *Tratado da Natureza Humana* não há uma ideia de substância mas sim uma sucessão de ideias particulares de qualidades da substância (Hume 1978, p. 16). As coisas como a substância, têm qualidades diversas unidas por uma conexão entre as diferentes ideias ou qualidades conhecidas e desconhecidas. Hume afirma que não temos uma ideia de substância distinta de uma colecção de qualidades particulares pois a ideia de substância só pode provir de uma impressão de reflexão que traduz as nossas emoções e paixões as quais não podem representar uma substância. A ideia de substância é uma colecção de ideias

simples unidas pela imaginação. A união destas ideias é uma relação de causalidade como conexão necessária e contiguidade entre ideias conhecidas e desconhecidas (Hume 1978, p. 16). Quando surge uma nova qualidade de uma substância, nós acrescentamos pelo facto de existir esta relação de causalidade e contiguidade entre as ideias (Hume 1978, p. 16-7).

Kant na Analítica dos Conceitos da *Crítica da Razão Pura* introduz os conceitos puros do entendimento ou categorias, aqueles que não derivam da experiência, conceitos portanto *a priori* (Kant 1997, B 102-107; A 78-81). Considera doze categorias.

A substância é uma categoria da relação, é um conceito puro do entendimento o qual é aplicado aos fenómenos no processo do conhecimento. As formas puras do entendimento são condição da inteligibilidade dos fenómenos.

Kant afirma “Esta substância, considerada apenas como objecto do sentido interno, dá o conceito de *imaterialidade*”(Kant 1997, A 345; B 403). Aplicando ao conceito de energia dir-se-ia que a energia teria uma parte imaterial, o conceito puro, independente da experiência e uma parte material, o fenómeno. Estas são independentes e o conceito puro ou categoria é anterior e condição da completa inteligibilidade do fenómeno energia como substância. Como exemplo: o fenómeno consiste em agitar água num tubo e esta aquecer. A ideia que algo subsiste, que há um substracto, leva ao conceito de substância. A energia não existe como coisa. Foi tida como substância.

Para Lodge, Poynting e Ostwald, a energia é uma substância. Ela move-se no espaço, ocupa lugar, logo não é um conceito puro. De acordo com Hume, não há uma ideia de substância mas sim uma sucessão de ideias particulares de qualidades da substância. Assim, podemos-nos interrogar se o conceito substância de Lodge, Poynting e Ostwald não será resultado de uma associação de ideias tal como Hume defende. Lodge e Poynting referem que a energia se move no espaço. Esta tese tinha apenas um fundamento matemático. Houve uma interpretação física dos dados matemáticos.

Mas, se a energia para Lodge, Poynting e Ostwald é uma substância, onde é que ela se localiza? Planck assinala que a energia não pode ser localizada num sistema e como tal não pode ser considerada substância. Hertz mostrou que as propriedades da energia potencial contradizem a nossa ideia de substância, porque a quantidade de uma substância é necessariamente uma grandeza positiva, enquanto a energia potencial dum sistema pode ser negativa, por exemplo.



#### 4. Relação númeno-fenómeno

Na Analítica Transcendental da *Crítica da Razão Pura*, Kant distingue a realidade externa e independente do sujeito, a coisa em si ou númeno, que é incognoscível, e os fenómenos, o modo como essa mesma realidade se apresenta ao sujeito, a coisa em nós, que é cognoscível (Kant 1997, A 253; B 306).

A matéria de qualquer fenómeno são as sensações. Estas sensações são ordenadas pelas formas *a priori* da sensibilidade resultando nas percepções; a razão aplica-lhes as formas *a priori* do entendimento alcançando a coisa em nós, os fenómenos. Portanto, os objectos são-nos dados na sensibilidade e pensados através de conceitos e princípios do entendimento.

Passemos à relação com Helmholtz. Helmholtz considera que apenas temos acesso à matéria pelo modo como ela nos aparece, através da força. As forças são os fenómenos kantianos e a matéria corresponde ao númeno kantiano. Para Helmholtz, a matéria e as forças são abstracções. Para Kant, o fenómeno não é uma abstracção. Assim, podemos fazer a analogia anterior mas acrescentar que houve uma transposição. Em Helmholtz, os fenómenos estão em conformidade com duas forças abstractas sendo os próprios fenómenos também entidades abstractas. Há um modelo conceptual da natureza.

## 5. Princípio de razão suficiente

Na Correspondência Leibniz-Clarke, Leibniz afirma que nada acontece sem uma razão suficiente para que seja de uma determinada maneira e não de outra (Leibniz; Clarke 1715-16, p. 9). Para um existente, há uma razão suficiente porque é que existe e porque é que é assim e não de outro modo (Leibniz; Clarke 1715-16, p. 12). Como exemplo de aplicação do princípio à física pode ser dado a barra de Arquimedes. Se os pesos nas extremidades da barra são iguais, não há razão para a barra se inclinar mais para um lado do que para outro, ficando em equilíbrio. O princípio é um axioma no sistema leibniziano. Assim, se for negado, cai todo o sistema. Isto pode ser mostrado no quadro da polémica com Clarke pela relação entre espaço absoluto e o princípio de razão suficiente. Se vale o primeiro, como Newton pretendia, então deixa de valer a filosofia de Leibniz.

Helmholtz baseia-se no princípio da razão suficiente para explicar a sua teoria. Se as causas são mutáveis então devemos prosseguir até às causas últimas que são a razão para que as coisas sejam de uma maneira determinada e não de outra. Tal é justificado pelo princípio da razão suficiente.

## 6. Energia como uma propriedade da matéria

A definição de energia como uma propriedade da matéria de Klein e Nellis pode ser discutida com base na qualidade kantiana.

Na Analítica dos Conceitos da *Crítica da Razão Pura*, Kant divide as categorias em quatro grupos: 1. quantidade; 2. qualidade; 3. relação; 4. modalidade (Kant 1997, A 80; B106). A categoria qualidade divide-se em realidade, negação e limitação.

<p>1. Quantidade</p> <p>Unidade</p> <p>Pluralidade</p> <p>Totalidade</p>	<p>2. Qualidade</p> <p>Realidade</p> <p>Negação</p> <p>Limitação</p>
<p>3. Relação</p> <p>Inerência e subsistência (substantia et accidens)</p> <p>Causalidade e dependência (causa e efeito)</p> <p>Comunidade (acção recíproca entre o agente e o paciente)</p>	<p>4. Modalidade</p> <p>Possibilidade – Impossibilidade</p> <p>Existência – Não-Existência</p> <p>Necessidade – Contingência</p>

Fig 19

As categorias kantianas vão dar origem à fundamentação metafísica da ciência do tempo nos *Fundamentos Metafísicos da Ciência da Natureza*.

A inclusão desta obra tem uma razão de ser: mostrar a aplicação ao domínio das ciências físicas das categorias.

Esta obra está dividida em quatro capítulos: 1. Fundamentos metafísicos da fononomia; 2. Fundamentos metafísicos da dinâmica; 3. Fundamentos metafísicos da mecânica; 4. Fundamentos metafísicos da fenomenologia. A relação entre as obras é indicada por Kant no início desta obra. Kant diz que o esquema para a completude de um sistema metafísico, quer geral quer de natureza corporal em particular, é a tábua das categorias (Kant 2004, p. 10). Todas as determinações do conceito geral de matéria devem estar sob as quatro classes de conceitos puros do entendimento, quantidade, qualidade, relação e modalidade (Kant 2004, p. 11). A natureza das coisas deve estar em conformidade com estas quatro classes de categorias. A segunda parte permite-nos estabelecer uma outra relação com Helmholtz.

Nos *Fundamentos Metafísicos da Ciência da Natureza*, Kant dá uma definição dinâmica de matéria: “matéria é qualquer coisa móvel e que preenche um espaço. Ocupar espaço significa resistir a qualquer outra coisa móvel que tenta mover-se para esse espaço. Um espaço que não é preenchido é um espaço vazio” (Kant 2004, p. 33).

A matéria é uma substância que ocupa espaço e que tem propriedades como a elasticidade, divisibilidade infinita, coesão e indestrutibilidade. A indestrutibilidade é a propriedade fundamental da matéria.

Há dois tipos de forças essenciais: as forças atractivas e as repulsivas, pois são as únicas forças capazes de ser pensadas (Kant 2004, p. 35). Apesar das forças atractivas serem a possibilidade da matéria, a matéria não é possível sem as forças repulsivas (Kant 2004, p.48) devido à propriedade de indestrutibilidade.

A causa da indestrutibilidade é a resistência da matéria a uma força que tente ocupar esse mesmo espaço. A reacção é uma força de sentido oposto, uma força repulsiva. É por esta razão que a realidade da matéria é uma força repulsiva e a sua negação é uma força atractiva. A força atractiva é uma força derivada, é a segunda força essencial da matéria pelo facto de ela não ser dada imediatamente aos nossos sentidos ao contrário da força repulsiva. A matéria, a força motriz, é limitada pois está confinada a um espaço: ela pode ser comprimida até ao infinito mas esse espaço não pode ser ocupado por outra força (Kant 2004, p. 37).

Verifica-se uma influência kantiana no pensamento de Helmholtz: todos os fenómenos na natureza são reduzidos a duas forças fundamentais, as forças de tensão e as forças vivas. A mudança é conferida pelo movimento.

Também se poderia, esta é uma hipótese de trabalho, discutir a energia como qualidade da matéria com base na cromodinâmica quântica. Com a mecânica quântica, sabe-se que a matéria é divisível em unidades mais simples, os quarks e os léptons. Com a cromodinâmica quântica, sabe-se que existem diferentes tipos de quarks de acordo com cores diferentes.<sup>339</sup> Assim, a matéria seria divisível e constituída por unidades não materiais e invisíveis em que a sua existência apenas poderia ser afirmada através dos seus rastos.

## 6. Conclusão

A questão da causalidade tratada por Hume e Kant traz um elemento novo para a energia. Em Mayer, não podemos falar de uma causalidade temporal, de uma causa que precede um efeito, mas a passagem de um a outro é concebida por transformação. Assim, se compreende que Mayer diga que nada podemos dizer sobre a essência dos fenómenos e que apenas temos factos que são diversos. Em Helmholtz, a causalidade é uma lei transcendental, uma lei da mente que é anterior à experiência e rege toda a nossa compreensão da natureza. Ela é a possibilidade da completa inteligibilidade de toda a natureza. Helmholtz tem um modelo conceptual da energia.

A ideia de substância tratada por Hume e Kant também acarreta um elemento novo à energia. A substancialização da energia por Lodge, Poynting e Ostwald é o resultado de uma associação de ideias tal como Hume refere relativamente à substância. Não há uma ideia de substância, mas sim ideias particulares de qualidades da substância.

Por outro lado, para Kant a substância é um conceito puro *a priori*, uma categoria.

Então será a energia um conceito puro, imaterial?

---

<sup>339</sup> “(...) introducing a new property or quantum number for quarks (not for leptons!): “color”. We suppose that quarks come in three primary colors: red, green, and blue, denoted symbolically by R, G, and B, respectively” (Halzen 1984: 5)

Podemos dizer que a energia não é uma substância e que os físicos que têm sustentado esta ideia se têm baseado num modo de pensar que já tinha sido visto e criticado pelos filósofos. E que a energia como conceito se situa no domínio da metafísica. Já Bunge (2000) dizia que a energia deve ser um conceito filosófico e metafísico.<sup>340</sup>

Tal como referido, Mayer defendeu-se da questão da causalidade colocando-se no plano dos factos, dizendo que nada se pode dizer acerca da essência dos fenómenos. É por esta razão que a tese de Kuhn, Holton, Cassiday, Rutherford, de uma influência da *Naturphilosophie* no pensamento de Mayer fica prejudicada.

Podemos colocar a questão: será o conhecimento um processo de sucessivas inautenticidades? Podemos responder afirmativamente se por inautenticidade entendermos provisório, contingente e passível de ser refutado. Usando a terminologia de Kuhn, assistimos ao longo da história a diversas mudanças de paradigma pela introdução de novos elementos, de novas teorias, que refutam a teoria vigente.

---

<sup>340</sup> “(...) the concept of energy must be philosophical and, in particular, metaphysical (ontological)” (Bunge 2000: 458); Cf. Barbosa e Borges 2006: 209.

## Cap. V. Conclusão

O conceito de energia é ainda hoje uma questão em aberto. Richard Feynman (1918-1988) dizia não saber o que é a energia. Vários outros físicos salientam a dificuldade em definir o conceito.

A historiografia das ciências atribui a descoberta da conservação da energia a Robert Mayer, Hermann von Helmholtz, James Joule, Ludvig Colding em meados do século XIX.

Elkana atribui a Helmholtz a descoberta da conservação da energia. Heimann, Caneva, Coopersmith, entre outros, atribuem a Mayer a descoberta deste princípio.

A ideia deste princípio tem origem numa observação clínica de Mayer em 1840. Mayer observou ou pensa ter observado que a cor do sangue venoso nos trópicos é mais clara que nos climas mais frios. Esta observação ainda não foi confirmada.

Para tentar responder a esta questão, elaboramos uma hipótese de modelo explicativo a partir dos dados do próprio Mayer e com base nas teorias biológicas hodiernas.

O modelo pode ser esquematizado em três níveis integrativos. A base dos fenómenos biológicos é físico-química e assenta na bomba electrogénica de sódio-potássio. Há bombagem do sódio para o exterior à custa de gasto de ATP e libertação de uma molécula de dióxido de carbono. O dióxido de carbono vai ligar-se a uma molécula de hemoglobina formando-se a carboxihemoglobina ao nível dos capilares dos tecidos. A carboxihemoglobina é transportada pela veia cava até aos pulmões onde o dióxido de carbono troca com o oxigénio da inspiração que é transportada pela aorta a todo o organismo. Ao nível dos capilares o oxigénio entra num outro ciclo de Krebs.

Mayer teve a ideia do princípio da conservação da energia. Este princípio germinou com base no seguinte raciocínio. Se a cor do sangue venoso nos trópicos é mais clara que nas zonas mais frias, é porque nestas se consome mais oxigénio para manter a temperatura do corpo. Isto teria sugerido que para se conseguir algo, algo terá que ser dispendido. Esta ideia deu origem a experiências como a que Mayer realizou com a agitação da água. Mayer descobriu uma metodologia para tratar os fenómenos. Com base em observáveis, Mayer estabelece equivalências entre domínios que até então não estavam relacionados de uma forma precisa. E é o estabelecimento de relações entre observáveis que lhe permite aplicar aos

fenómenos este princípio de equivalência. É por esta razão que atribuímos a Mayer a descoberta do princípio da conservação da energia.

Coelho em 2009 mostrou que Mayer estabeleceu equivalências entre grandezas. Para Mayer, a energia é uma equivalência entre grandezas e ele conseguiu explicar a energia através das equivalências.

Com base neste princípio de equivalência, os exercícios de física e química são resolvidos de uma forma conceitualmente mais simples. Não temos que ver no fenómeno aquilo que não é observável.

Outro ponto é que o conceito de energia provém do conceito de força. E apesar do termo energia ter sido comumente usado na linguagem dos séculos XVIII e XIX, ele é primeira vez introduzido na temática calor e movimento por Thomson em 1851.

A força é o conceito fundamental na teoria de Mayer. No artigo de 42, Mayer estabelece o princípio da conservação da energia. A base do raciocínio é a seguinte. Para se conseguir algo, algo tem que ser realizado, ou nada surge do nada. Neste artigo, em todos os fenómenos físicos e químicos, a força permanece constante. A força é simultaneamente causa e efeito. A causa é igual ao efeito e a passagem de um a outro é transformação. Em 1845 ele vai partir do nada vem do nada que ele vai aplicar aos fenómenos.

No livro de 1845, Mayer generalizou pela primeira vez a ideia de conservação da energia à fisiologia e biologia. Em alguns casos, havia uma investigação empírica. Em muitos casos, os argumentos de Mayer para a generalização são baseados em analogias entre os fenómenos inorgânicos e orgânicos.

Para Helmholtz, existem duas forças últimas ou fundamentais na natureza, forças de tensão e forças vivas, cuja soma é constante. Helmholtz reduz todos os fenómenos da natureza a duas forças-causas abstractas, as forças de tensão e as forças vivas. E a redução de todos os fenómenos às duas causas-forças últimas é condição para a completa inteligibilidade da natureza.

Helmholtz reduz todos os fenómenos da natureza a duas forças imutáveis segundo a lei da causalidade. Esta lei é uma lei transcendental que é independente de toda a experiência e que a rege. Trata-se de uma lei que é formulada no pensamento humano, uma lei teórica, condição da completa inteligibilidade da natureza. Helmholtz é influenciado pelo idealismo transcendental de Kant.



Podemos acrescentar que Helmholtz não recorre à filosofia kantiana como um primeiro passo mas como um modo explicativo da sua teoria. Helmholtz constrói uma teoria e necessita de a fundamentar, razão pela qual recorre ao idealismo transcendental de Kant.

Assim, o importante não é apenas mostrar o princípio filosófico subjacente ao pensamento de Helmholtz. Mas o modo como ele o utiliza como meio de explicação dos fenómenos. Este é o carácter inovador do pensamento de Helmholtz. Um exemplo. Uma pilha tem forças de tensão e forças vivas, de movimento. As forças não são visíveis, apenas o objecto em repouso e em movimento. Tendo em conta as forças atractivas e repulsivas que são o fundamento teórico da natureza, pelo princípio de causalidade Helmholtz consegue explicar as forças de tensão no repouso e as forças vivas no movimento.

Estabelecendo um paralelo entre Mayer e Helmholtz, há a referir que enquanto Mayer lida com observáveis, Helmholtz tem por base duas forças que não têm de ser observáveis. Assim, Mayer pode aproveitar os resultados empíricos e estabelecer uma relação entre o consumo de alimentos e a actividade realizada. Helmholtz precisaria de mais informações que permitissem a conexão dos fenómenos com as forças de tensão e forças vivas no interior dos seres vivos. Apesar de existir uma relação entre as forças de tensão químicas e as forças vivas, falta o elemento informativo para a sua conexão com os fenómenos. Tal dificuldade reside no facto de Helmholtz pensar os fenómenos em termos abstractos.

Mayer consegue estabelecer uma analogia entre fenómenos biológicos como a oxidação dos músculos e fenómenos físicos como a experiência de Gay-Lussac. Apenas a relação entre estes fenómenos é abstracta. Trata-se de uma teoria que está subjacente a toda a fenomenologia e que permite o seu tratamento. O tratamento dos dados é teórico mas os fenómenos são observáveis.

Em Helmholtz, os fenómenos são reduzidos a modelos conceptuais, podendo, nalguns casos, não existir uma conexão com os fenómenos. Noutros casos, como por exemplo na queda livre, há uma conexão do modelo conceptual com os observáveis.

Não se pode falar de uma causalidade no sentido de uma causa que precede o efeito em Mayer. Podemos dizer que Mayer resolveu a questão da causalidade dizendo que nada se pode dizer sobre a essência dos fenómenos, colocando-se no plano dos factos. Apenas temos factos que são diversos.

Em Helmholtz, todos os fenómenos da natureza são reduzidos a duas forças fundamentais, as forças de tensão e as forças vivas, segundo o princípio da causalidade. Há uma relação causal necessária imposta pelas formas *a priori* do entendimento, causa-efeito.

Passemos às principais teses da historiografia discutidas nesta dissertação. Enquanto Kuhn refere a influência da *Naturphilosophie* em Mayer e Helmholtz, outros negam-na. Os argumentos aduzidos nesta dissertação para corroborar a negação da influência da *Naturphilosophie* podem ser discutidos da seguinte forma:

Mayer diz que uma coisa é igual a outra, são o mesmo, mas por outro lado, ele diz que uma coisa é igual ao outro, ao diferente. Parece cair num paradoxo. Ele resolve habilmente este paradoxo dizendo que nada podemos dizer acerca da essência, colocando-se no plano dos factos. Assim, a tese de alguns historiadores da ciência de uma influência da *Naturphilosophie* no pensamento de Mayer fica prejudicada. Por um lado, podemos ser levados a pensar que há uma influência clara pois se uma coisa é igual a outra, então são o mesmo. Por outro, não o podemos afirmar pois Mayer defendeu-se desta questão colocando-se no plano do diverso, dos factos, dizendo que nada se pode afirmar sobre a essência e que apenas temos factos que são diversos. A causa é igual ao efeito é entendido como uma equivalência e o diverso é equivalente à causa de que nada podemos dizer acerca da sua essência.

Helmholtz constroi um modelo teórico da natureza cognoscível pelo sujeito cognoscente em ciência mas não reduz os fenómenos a uma força originária comum como é a tese defendida pela *Naturphilosophie*. Ele reduz os fenómenos a duas forças abstractas, forças de tensão e forças vivas. Não há uma força originária comum na raiz dos fenómenos mas trata-se de um modelo conceptual de duas forças que rege todos os fenómenos. É neste sentido que há uma influência do idealismo transcendental de Kant e não da *Naturphilosophie*.

Como hipótese explicativa inicial do trabalho, construímos um modelo de energia com base na filosofia kantiana. E neste modelo, a essência da energia é incognoscível enquanto coisa em si. E apenas temos conhecimento das coisas através do modo como elas nos aparecem, os fenómenos. Torna-se importante distinguir a essência da energia do conceito de energia. O que será então a energia, a essência e o conceito?

Há diversas definições de energia mas não há unanimidade na sua definição. A energia é definida como substância (Fermi 1937; Hund 1956; Ostwald 1908), como capacidade de realizar trabalho (Maxwell 1872; Voigt 1903; Westphal 1979; Breithaupt 1999; Tipler 2000),

como uma transferência (Lodge 1879; Keller, Gettys e Skove 1993; Breithaupt em 1999; Tipler 2000; Çengel e Boles 2002; Borgnakke e Sonntag 2009), como um princípio matemático (Feynman 1966), como uma equivalência (Voigt 1903; Preston 1919; Müller e Pouillet 1926; Allen e Maxwell 1962) ou como uma propriedade da matéria (Klein e Nellis 2012). Também nos textos de física, a energia libertada transforma-se em outra forma de energia, o calor ou o trabalho (Wolf 1949; Hund 1956; Allen e Maxwell 1962; Beithaupt 1999; Çengel e Boles 2002).

Para Ostwald, a energia é uma substância. Toda a natureza é subsumida pela energia. Mas se a energia é uma substância onde é que ela se localiza? Feynman dizia que a energia não era uma substância, não era um objecto, mas sim um princípio matemático. Mas se a energia é um princípio matemático, ela é uma construção do pensamento humano.

Há diversos mal-entendidos na definição de energia. A energia é ainda hoje ensinada como substância. Mas o conceito de energia deve ser discutido do ponto de vista científico, histórico e filosófico como foi o nosso propósito neste trabalho.

Têm-se desenvolvido métodos de ensino para evitar estes mal-entendidos. O modelo que nós propomos deve incluir uma análise histórica, filosófica, analítica, cultural, do conceito de energia.

No caso de Mayer, a energia é uma equivalência. Será que este princípio de equivalência se aplica ao domínio biológico? Podemos supor um sistema biológico restrito e aferir dum ponto de vista lógico se este princípio de equivalência também se adequa.

Consideramos um sistema termodinâmico restrito e analisámos dum ponto de vista conceptual e lógico a sua coerência interna. Para tal, torna-se necessário ter em conta algumas considerações. No organismo, todas as moléculas são constituídas por diferentes arranjos de electrões e protões. Os electrões têm carga negativa e os protões positiva.

A força a nível molecular é a força eléctrica, que é atractiva e repulsiva. As moléculas interagem e colidem, fragmentando-se e originando novos arranjos moleculares. Assim, as moléculas têm energias diferentes dependendo do seu arranjo particular de protões ou electrões nos seus átomos.<sup>341</sup>

---

<sup>341</sup> “Essentially everything happening in the body is due to electons and protons bumping into each other and rearranging themselves. (...) Si les molecules collide, they may break up and rearrange forming new molecules. Various molecule arrangements have different energies associated with them-due to the particular arrangement of protons and electons within each molecule. (Brown 1999: 69).

Mas o que é a energia? Será ela uma substância quantificável? Neste caso, a energia ocuparia espaço e seria uma entidade concreta como os átomos, as moléculas.

Feynman dizia que a energia não é um objecto concreto, mas sim um princípio matemático. Mas neste caso como entender que existam moléculas com mais ou menos energia?

Vamos analisar este sistema termodinâmico restrito dum ponto de vista lógico.

As ligações dos sistemas biológicos são estabelecidas segundo reacções químicas e como tal, partilham de características termodinâmicas comuns.

Um sistema termodinâmico no qual as reacções se processam é a matéria ou região no espaço delimitada por uma fronteira ou hipotética fronteira. Os sistemas podem ser fechados, em que apenas existem trocas de energia com o exterior; isolados, em que não há trocas de energia ou matéria com o exterior e abertos, em que há trocas de energia e matéria com o exterior. Como exemplo, os organismos vivos são sistemas termodinâmicos abertos. A matéria do restante universo termodinâmico, constitui o sistema circundante.<sup>342</sup>

Existe uma forte interligação entre estes dois sistemas. Contudo, por questões metodológicas, analisaremos, em primeiro lugar, os processos termodinâmicos no sistema; seguidamente, estabeleceremos as relações entre estes dois sistemas.

As reacções dos sistemas termodinâmicos biológicos dão-se, geralmente, a uma temperatura e pressão constantes.

Por hipótese podemos considerar três energias no sistema termodinâmico. Mas estas energias são diferentes modos de designar a energia de acordo com a relação entre os átomos das moléculas e não são o mesmo que os dois estados anteriormente referidos. Ou seja, cada energia tem dois estados, o ordenado e o desordenado.

Vamos analisar as diferentes energias do sistema termodinâmico.

Numa reacção química em que se formam ou clivam ligações entre os átomos de uma molécula há respectivamente libertação ou absorção de calor pelos átomos intervenientes na reacção: os átomos livres, os reagentes e os átomos ligados, os produtos. A esta variação de calor entre o estado inicial de átomos livres ( $E_A$ ) e o estado final de átomos ligados ( $E_B$ ) chama-se variação da entalpia do sistema termodinâmico ( $\Delta H_{SIST}$ ) (Smith 1973, p. 22-3):

---

<sup>342</sup> “The matter in the rest of the universe is called the surroundings” (Stryer 1975: 180).

$$\Delta H_{\text{SIST}} \cong f(E_B - E_A)$$

A entalpia é função do calor envolvido nos estados finais e iniciais da reacção, sendo independente dos seus estados intermédios. E este calor envolvido na formação ou clivagem das ligações coincide aproximadamente com a energia interna destas ligações. E isto deve-se, por um lado, ao facto das reacções nos sistemas termodinâmicos biológicos se processarem a uma temperatura e pressão constantes; por outro, a uma reduzida variação do volume do sistema neste mecanismo de formação ou clivagem de ligações, pelo que este pode ser desprezável.

A expressão que relaciona, num sistema termodinâmico, a variação da entalpia ( $\Delta H_{\text{SIST}}$ ) com estas outras variáveis, ou seja, a variação da energia interna ( $\Delta E_{\text{SIST}}$ ), a variação do volume ( $\Delta V$ ) e a pressão ( $P$ ), é dada por (Stryer 1975, p. 181):

$$\Delta H_{\text{SIST}} \cong \Delta E_{\text{SIST}} + P \Delta V$$

Assim, e mais uma vez, nos sistemas biológicos esta variação da entalpia coincide aproximadamente com a variação da energia interna do sistema.

Numa reacção exotérmica, em que há libertação de calor na formação das ligações entre os átomos, a entalpia é negativa, ou seja, a energia dos átomos ligados ( $E_B$ ) é inferior à dos átomos livres ( $E_A$ ); numa reacção endotérmica, em que há absorção de calor na clivagem das ligações entre os átomos, a entalpia é positiva.<sup>343</sup>

Mas, antes da formação ou após a clivagem das ligações entre os átomos, estes podem mover-se livremente no sistema. É este movimento livre dos átomos, ou melhor, a agitação de todos os átomos livres num sistema termodinâmico, que está relacionado com a variação da entropia do sistema termodinâmico ( $\Delta S$ ), o calor associado a esta agitação dos átomos (em sistemas a uma temperatura e pressão constantes). A entropia é, portanto, uma grandeza

---

<sup>343</sup> “If the reactants contain more energy than the products, heat is given out during the reaction (i.e. it is exothermic) and  $H$  will have a negative value. In an endothermic reaction, the energy of the products will be greater than the energy of the reactants and  $H$  will have a positive value” (Davies 1973: 477).

termodinâmica que mede o grau de desordem termodinâmico de um sistema. E ela aumenta ou diminui respectivamente quando esta agitação dos átomos aumenta ou diminui.<sup>344</sup>

É a relação entre estas duas grandezas termodinâmicas, a variação da entalpia ( $\Delta H$ ) e a variação da entropia ( $\Delta S$ ), que se designa por variação da energia livre de Gibbs ( $\Delta G$ ) de um sistema termodinâmico (a uma temperatura e pressão constantes) (Smith 1973, p. 45-7). A energia livre é, por conseguinte, uma energia do sistema que depende das outras duas, mas que não está directamente envolvida quer na formação e clivagem de ligações quer na agitação dos átomos livres.

Assim e de uma forma simples pode dizer-se que um sistema termodinâmico, (no qual ocorrem as reacções químicas, excluindo neste caso, o sistema circundante), é a matéria de uma região delimitada e a variação da energia livre depende de uma relação entre a variação da entalpia ou energia envolvida na formação e clivagem de ligações, e a variação da entropia ou energia associada ao movimento livre dos átomos do sistema termodinâmico (a uma temperatura, T, e pressão, constantes) (Stryer 1975, p. 181):

$$\Delta G_{\text{SIST}} \cong \Delta H_{\text{SIST}} - T \Delta S_{\text{SIST}} \quad (1)$$

Deste modo, cada molécula tem uma energia livre própria relacionada com a variação da sua entalpia e com a variação da sua entropia. E esta variação da energia livre de um sistema tem que ser negativa, ( $\Delta G_{\text{SIST}} < 0$ ), isto é, o seu estado de átomos ligados deve coincidir com um mínimo de energia livre.

Por esta razão, as moléculas para interagirem têm que ultrapassar barreiras de energia. A molécula no seu estado de energia livre mínima (no seu estado de átomos ligados) terá que ultrapassar uma barreira de energia ( $\Delta G_{\text{SIST}}$ ) de modo a passar deste estado A1 para um outro estado de energia livre mínima A2 (outro estado de átomos ligados) passando por um estado de átomos livres A3. E esta barreira deve corresponder a um mínimo de energia livre, ou seja, ela deve ser negativa para uma maior facilidade na transição dos átomos do estado A1 para o estado A3.

Assim, o estado nativo de uma molécula corresponde, de uma forma geral, a um estado de energia livre mínima, isto é, a uma energia livre negativa ( $\Delta G < 0$ ). Contudo, e pelo

---

<sup>344</sup> “The entropy of a system increases when it becomes more disordered” (Stryer 1975: 181).

facto de existirem outros mínimos de energia livre, algumas moléculas "fold" em estados de energia livre mínima que não coincidem com o mais negativo de todos.

Temos, assim, uma primeira condição termodinâmica necessária à ocorrência de uma reacção espontânea:  $\Delta G < 0$  (Stryer 1975, p. 181). E esta condição vai depender, tal como se pode verificar pela expressão (1), de uma relação entre a variação da entalpia e a variação da entropia do sistema termodinâmico.

Mas, se tomarmos o sistema termodinâmico global, constituído pelo sistema termodinâmico e o sistema circundante, estes dois sistemas interagem, dando-se trocas de calor entre ambos. Ora, pela primeira lei da termodinâmica, a energia total dos dois sistemas é sempre constante.

Logo, uma diminuição da entalpia do sistema ( $\Delta H_{\text{SIST}} < 0$ ) traduz-se num aumento do calor no sistema total devido a um aumento do movimento livre dos átomos no sistema circundante, isto é, um aumento da sua entropia ( $\Delta S_{\text{CIRC}} > 0$ ) (a uma temperatura,  $T$ , e pressão, constantes):

$$\Delta H_{\text{SIST}} \cong - T \Delta S_{\text{CIRC}} \quad (2)$$

Por outro lado, e de acordo com a segunda lei da termodinâmica, a soma da entropia do sistema e do sistema circundante tem que ser positiva para que a reacção ocorra espontaneamente ( $\Delta S_{\text{SIST}} + \Delta S_{\text{CIRC}} > 0$ ). E, mais uma vez, uma diminuição da entropia do sistema é compensada através de um aumento da entropia do sistema circundante de acordo com a segunda lei e de modo a satisfazer a primeira lei da termodinâmica: a energia total do sistema global é constante.

Temos, assim, duas condições necessárias para a ocorrência de uma reacção espontânea:

1.  $\Delta G_{\text{SIST}} < 0$ .<sup>345</sup>
2.  $(\Delta S_{\text{SIST}} + \Delta S_{\text{CIRC}}) > 0$ .<sup>346</sup>

---

<sup>345</sup> "A reaction can occur spontaneously only if  $G$  is negative" (Stryer 1975: 181).

<sup>346</sup> "The second law of thermodynamics states that a process can occur spontaneously only if the sum of the entropies of the system and its surroundings increases" (Stryer 1975: 181).

Como estes sistemas estão interligados no mecanismo de uma reacção química, podemos substituir a expressão da variação da energia livre (1) por uma outra que relaciona a variação da energia livre do sistema,  $\Delta G_{\text{SIST}}$ , com a variação da entropia em ambos os sistemas ( $\Delta S_{\text{TOTAL}}$ ) (a uma temperatura,  $T$ , e pressão constantes):

$$\Delta G_{\text{SIST}} \cong - T \Delta S_{\text{TOTAL}} \quad (3)$$

Podemos assim dizer que, uma reacção ocorre,  $\Delta G < 0$ , sempre que a variação da entropia total do sistema (sistema e sistema circundante) aumenta,  $\Delta S_{\text{TOTAL}} > 0$ .

De acordo com esta relação, vamos analisar as condições de possibilidade lógica de uma reacção, nas reacções exotérmicas e nas endotérmicas. Para isso, e tendo em conta a relação existente entre os dois sistemas termodinâmicos, há que relacionar a expressão da variação da energia livre do sistema (1) e a que relaciona esta variação da energia livre do sistema com a variação da entropia de ambos os sistemas (3), tendo em conta as duas condições necessárias à ocorrência de uma reacção espontânea e a primeira lei da termodinâmica.

Numa reacção exotérmica, em que há libertação de calor na formação das ligações entre os átomos das moléculas, a entalpia do sistema é negativa,  $\Delta H_{\text{SIST}} < 0$ . A probabilidade de ocorrência desta reacção, isto é,  $\Delta G_{\text{SIST}} < 0$ , inclui duas situações a considerar:

1. A entropia do sistema é negativa ( $\Delta S_{\text{SIST}} < 0$ ). E isto porque, como há formação de ligações entre os átomos, a variação da entropia pode tender a ser negativa (há pouco movimento livre dos átomos). Assim, e de acordo com a expressão (1), a reacção só poderá ocorrer, ou seja,  $\Delta G_{\text{SIST}} < 0$ , se a entalpia do sistema ( $\Delta H_{\text{SIST}}$ ) diminuir de tal modo que o seu valor seja maior, em módulo, do que módulo de  $T \Delta S_{\text{SIST}}$ . Mas, por outro lado, a outra condição necessária à ocorrência de uma reacção impõe que a soma da entropia do sistema e do sistema circundante seja positiva, ou seja,  $\Delta S_{\text{TOTAL}} > 0$  e a primeira lei da termodinâmica diz-nos que a energia total de ambos os sistemas tem que ser sempre constante. Como então conciliar, quer estas duas condições necessárias, quer a primeira lei da termodinâmica, com



este sistema em que a entalpia e a entropia são ambas negativas? Por outras palavras, como é que a entalpia do sistema pode diminuir de modo a satisfazer a primeira condição  $\Delta G < 0$  de acordo com a expressão (1) e ao mesmo tempo a entropia aumentar de modo a prefazer a exigência das duas leis da termodinâmica,  $\Delta S_{\text{TOTAL}} > 0$  e a energia total de ambos os sistemas ser sempre constante (a entropia do sistema tende a ser negativa, visto que, os átomos têm pouco movimento livre devido a estarem envolvidos na formação de ligações)?

Esta questão é resolvida tendo em conta a relação expressa em (2) que reflecte a primeira lei da termodinâmica. Assim, pela expressão (2), sabemos que uma diminuição da entalpia do sistema traduz-se num aumento do calor, da energia no sistema total (sistema e sistema circundante), através de um mecanismo de compensação em que a entropia do sistema circundante aumenta ( $\Delta S_{\text{CIRC}} > 0$ ), de modo que a energia total de ambos os sistemas seja sempre constante. O mesmo é dizer: a diminuição da entalpia é compensada por um aumento da entropia do sistema circundante, de modo a preencher o requisito da primeira lei da termodinâmica. Deste modo, estão satisfeitas ambas as condições, ou seja,  $\Delta G_{\text{SIST}} < 0$  e  $\Delta S_{\text{TOTAL}} > 0$ . Por outro lado, confirma-se a relação expressa em (3) entre a variação da energia livre do sistema e a variação da entropia no sistema total, isto é, uma reacção é provável,  $\Delta G_{\text{SIST}} < 0$ , desde que  $\Delta S_{\text{TOTAL}} > 0$ .

2. A entropia do sistema é positiva ( $\Delta S_{\text{SIST}} > 0$ ). Nestas condições e de acordo com a expressão (1) a reacção pode ocorrer,  $\Delta G < 0$ . E como vimos, para atender à segunda condição imposta pela segunda lei da termodinâmica, este aumento da entropia pode fazer-se à custa de um aumento da entropia do sistema ou do sistema circundante. E este aumento da entropia deve satisfazer a primeira lei da termodinâmica, ou seja, a energia total de ambos os sistemas é sempre constante (a energia interna do sistema é negativa). Assim, se não for possível um aumento da entropia do sistema, visto que os átomos estão muito ligados, este aumento da entropia vai fazer-se à custa de um aumento da entropia do sistema circundante.

Numa reacção endotérmica, em que há absorção de calor na clivagem das ligações entre os átomos, a entalpia é positiva ( $\Delta H > 0$ ). A reacção é provável,  $\Delta G_{\text{SIST}} < 0$ , e de acordo com a expressão (1), desde que a variação da entropia do sistema aumente de tal modo que seja maior, em módulo, do que módulo de  $\Delta H_{\text{SIST}}$ , e que satisfaça quer a outra condição,  $\Delta S_{\text{TOTAL}} > 0$ , quer a primeira lei da termodinâmica. E como há clivagem das ligações entre os

átomos, a entropia do sistema pode tender a aumentar ( $\Delta S_{\text{SIST}} > 0$ ). Caso contrário, haverá um aumento compensatório por parte do sistema circundante.

Desta análise, confirma-se mais uma vez a relação existente entre os dois sistemas expressa em (3), ou seja, uma reacção é provável,  $\Delta G_{\text{SIST}} < 0$ , desde que,  $\Delta S_{\text{TOTAL}} > 0$ , assim como a presença de um mecanismo de compensação por parte do sistema ou do sistema circundante no sentido de satisfazer a primeira e a segunda lei da termodinâmica. Por outras palavras, o sistema termodinâmico na sua totalidade (sistema e sistema circundante) encontra uma maneira de atender à primeira lei da termodinâmica através de uma relação de compensação entre a entalpia e a entropia. E este mecanismo inclui, obviamente, o preenchimento da condição imposta pela segunda lei da termodinâmica.

É por isto que em sistemas muito ordenados, ou seja, cuja entropia e entalpia tendem a ser negativas (os átomos têm pouco movimento livre porque estão muito ligados) a reacção pode prosseguir,  $\Delta G_{\text{SIST}} < 0$ , desde que a entropia total dos dois sistemas aumente,  $\Delta S_{\text{TOTAL}} > 0$ .

Trata-se de um modelo teórico da energia nos sistemas biológicos. Como vimos, este modelo teórico tem uma coerência interna e lógica. É um princípio lógico e que nos dá acesso a uma compreensão do modelo de energia nos sistemas biológicos. Analisámos o processo termodinâmico nos sistemas isolados como as moléculas. Mas os organismos vivos são sistemas abertos. Tal como no caso de Mayer, há uma estrutura conceptual subjacente aos fenómenos biológicos.

Aquilo que se passa a nível termodinâmico nas moléculas tem consequências no organismo global como constituído por células, moléculas, etc. Como vimos, uma reacção ocorre se a entropia aumentar. É a condição imposta pela segunda lei da termodinâmica. Mas como é que se entende a organização dos seres vivos? A resposta é que o segundo princípio da termodinâmica não se aplica a todos os sistemas, só se aplica a sistemas isolados (Peixoto 1985, p. 35). Os organismos vivos são sistemas abertos, nos quais a ordem pode aumentar à custa dum excesso de desordem do sistema circundante (Peixoto 1985, p. 35).

Os seres vivos são sistemas termodinâmicos abertos que têm a capacidade de transformar a energia exterior para a sua organização. Eles são sistemas estacionários que não estão em equilíbrio com o meio exterior mas em constante mudança reorganizativa da sua estrutura molecular. Eles são constituídos por moléculas que isoladas e tomadas individualmente são seres inanimados e que tendem à desorganização por aumento da entropia. Ao contrário, os

organismos vivos organizam-se à custa do aumento de desordem do sistema circundante. Mas a segunda lei da termodinâmica é satisfeita pois a entropia do sistema e sistema circundante no seu conjunto, que passa a ser um sistema isolado, aumenta (Peixoto 1985, p. 42).

Vamos considerar os fenómenos psíquicos.

De acordo com as teorias neuropsicológicas actuais, os fenómenos psíquicos têm origem na transmissão de neurotransmissores ao nível das fendas sinápticas dos neurónios. A base dos fenómenos psíquicos não é apenas química mas sim físico-química. Ostwald aproxima-se de uma visão actual do mundo mas apenas dos modelos teoria-experiência. A essência da energia transcende estes modelos contingentes.

O conceito moderno de energia psíquica surgiu com Sigmund Freud (1856-1939) no final do século XIX.

Helmholtz tinha usado os conceitos e técnicas da física para estudar o sistema nervoso e a percepção. Ele foi o primeiro a medir a velocidade do sinal de condução pelos nervos no homem e animais, concluindo que a condução nervosa era actualmente mais lenta do que a velocidade da luz. Isto implicava que o cérebro fosse lento e que o mundo que percebemos pela mente está retardado relativamente ao mundo real, o mundo exterior. Foi assim que Helmholtz concluiu que o mundo que apreendemos é construído pela mente (Brown 1999, pp. 169-170).

A maior parte do trabalho cerebral era inconsciente e Freud apesar de sustentar a sua teoria psicanalítica acreditava que ela viesse a ser substituída por explicações fisiológicas.

De acordo com as noções neuropsicológicas hodiernas, o modelo da energia psíquica é de natureza físico-química e resulta de um processo a nível das células neuronais. O tradicional dualismo mente-cérebro é substituído por uma unidade mente-cérebro subsumida por uma natureza físico-química.

Em todas as células e nomeadamente nas cerebrais, as proteínas são os seus elementos principais, são os responsáveis pelos processos celulares como a memória, o processamento de informação, entre outros.

As proteínas são constituídas por cadeias de aminoácidos e são sintetizadas no citoplasma das células. Na síntese das proteínas intervêm os dois principais ácidos nucleicos, o DNA que contém a informação genética e que se encontra no núcleo da célula e o RNA que intervém directamente na síntese das proteínas no citoplasma celular.

Ao nível das fendas sinápticas interneuronais dá-se a transmissão do impulso nervoso de um neurónio para outro. Este impulso é um sinal eléctrico e químico pois envolve uma troca iónica entre o sódio e o potássio ao nível da bomba sódio-potássio nas membranas celulares.

A chegada do impulso proveniente do primeiro neurónio à fenda sináptica, liberta neurotransmissores, proteínas, que se propagaram pelo segundo neurónio desencadeando o processo psíquico de processamento de informação, a contracção muscular, entre outros.

Os dois principais neurotransmissores são o glutamato e o GABA. O glutamato é o neurotransmissor excitatório enquanto o GABA é o inibitório. Existem outros neurotransmissores como a noradrenalina, a serotonina, a dopamina, a acetilcolina, que também intervêm nos processos psíquicos.

A sucessiva clivagem do ATP nos processos biológicos leva a um aumento da entropia de acordo com a segunda lei da termodinâmica. Isto não é porém incompatível com a organização dos seres vivos.

A conciliação reside nas trocas iónicas entre o sódio, o potássio e outros iões ao nível da membrana celular. A entrada de um ião na célula é acompanhada pela saída de outro para o espaço extracelular. O aumento de entropia extracelular gerado pela saída de um ião da célula é compensado pela diminuição da entropia, neguentropia, intracelular de outro que entra na célula. É deste modo que os organismos se organizam. A desordenação molecular num compartimento celular é compensada pela ordenação molecular em outro. Por outras palavras, o aumento de entropia no exterior da célula é compensado por uma diminuição da entropia no interior da célula.

Mais uma vez, nos processos biológicos, a primeira e a segunda lei da termodinâmica são satisfeitas. Podemos pois dar conta do nosso conhecimento dos seres vivos e partir do esquema conceptual da teoria do calor.

## **Bibliografia**

### **Abreviaturas das publicações periódicas**

*Am. J. Phys.* *American Journal of Physics*

*Eur. J. Sci. Educ.* *European Journal of Science Education*

*Int. J. Sci. Educ.* *International Journal of Science Education*

*Phil. Mag az.* *Philosophical Magazine*

*Phys. Educ.* *Physics Education*

*Phys. Teac.* *The Physics Teacher*

*Res. Sci. Tech. Educ.* *Research in Science & Technological Education*

*Sci. Educ.* *Science and Education*

*SSR* *School Scientific Review*

## Obras e artigos

Allen, H. S; Maxwell, R. S. (1962) *A Text-book of Heat*. London: Macmillan.

Alonso, Marcelo ; Finn, Edward J. (1996) *Physics*. Harlow (etc): Addison Wesley.

Althusser, Louis (1963) “La dialectique matérialiste”, *La Pensée.*, août.

Althusser, Louis, Balibar, Étienne (1968) *Lire le Capital I*. Paris : François Maspero.

Ampère, A. M. (1822) “Expériences relatives à de nouveaux phénomènes électrodynamiques“, *Annales de Chimie et de Physique* 20, 60-74.

Anderson, G. M. (2005) *Thermodynamics of Natural Systems*. 1<sup>a</sup> ed.: 1996. Cambridge: Cambridge University Press.

Arons, Arnold. B. (1965) *Developments of Concepts of Physics*. Reading, Mass: Addison-Wesley.

Arons, Arnold B. (1999) “Development of energy concepts in introductory physics courses”, *Am. J. Phys.*, vol. 67, 12, 1999: 1063-1067.

Autenrieth, Johann (1801) *Handbuch der menschlichen Physiologie*. Tübingen.

Barbosa, João Paulino Vale; Borges, António Tarciso (2006) “O Entendimento dos Estudantes sobre Energia no início do Ensino Médio”, *Caderno Brasileiro de Ensino de Física*, vol. 23, 2:182-215.

Bauman, Robert P. (1992) “Physics that Textbook Writers Usually Get Wrong”, *Phys. Teac.*, vol. 30: 264-269.

Benenson, Walter; Harris, John; Stocker, Horst; Lutz, Holger (2001) *Handbook of Physics*. New York: Springer.

Bergmann Ludwig; Schaefer, Clements (1998) *Lehrbuch der Experimentalphysik I*. 11<sup>a</sup> ed. Berlin, New York: de Gruyter.

Besson, Ugo; Ambrosis, Anna (2013) “Teaching energy concepts by working on themes of cultural and environmental value”, *Sci.Educ*, published online 10 Abril 2013.

Bevilacqua, Fabio (1993) “Helmholtz’ Ueber die Erhaltung der Kraft”, in David Cahan (ed.) *Hermann von Helmholtz and the foundations of the Nineteenth-century Science*, pp. 291-333. Berkeley, Los Angeles and London: University of California Press.

Bevilacqua, Fabio (2011) “Can history help understand energy conservation?”, Abstract of the *IHPST Conference*, Thessaloniki.

Bevilacqua, Fabio (2011) “Energy Symposium”, Abstract of the *IHPST Conference*, Thessaloniki.

Bevilacqua, Fabio (2014) “Energy: Learning from the past”, *Sci. Educ*, published online: 15 Março 2014.

Beynon, John (1990) “Some myths surrounding energy”, *Phys. Educ.* 25: 314-316.

Blundell, Stephen J.; Blundell, Katherine M. (2006) *Concepts in Thermal Physics*. Oxford: Oxford University Press.

Borgnakke, Claus; Sonntag, Richard E. (2009) *Fundamentals of Thermodynamics*. Hoboken, N. J.: John Wiley & Sons.

Braunwald, Eugene et al. (2001) *Harrison’s Principles of Internal Medicine*. 15<sup>th</sup> ed. New York (etc): McGraw-Hill.

Breithaupt, Jim (1999) *Physics*. Brasingstoke: Macmillan.

Brown, Guy (1999) *The Energy of Life*. London: Harper Collins Publishers.

Bunge, Mario (2000) “Energy: Between Physics and Metaphysics”, *Sci. Educ.* 9: 457-461.

Callen, Herbert B. (1985) *Thermodynamics and an Introduction to Thermostatistics*. New York (etc): John Wiley & Sons.

Caneva, Kenneth (1993) *Robert Mayer and the Conservation of Energy*. Princeton: Princeton University Press.

Caruso, Francisco; Oguri, Vitor (2006) *Física Moderna*. Rio de Janeiro: Editora Campus/Elsevier.

Cassiday, David; Holton, Gerald; Rutherford, James (2002) *Understanding Physics*. New York: Springer.

Çengel, Yunus A. (1997) *Introduction to Thermodynamics and Heat Transfer*. Boston (etc): McGraw-Hill.

Çengel, Y.; Boles, M. (2002) *Thermodynamics*. Boston(etc): McGraw-Hill.

Chalmers, B. (1963) *Energy*. New York-London: Academic Press.

Chrisholm, Dennis (1992) "Some energetic thoughts", *Phys. Educ.* 27: 215-220.

Coelho, Ricardo Lopes (2006) *O Conceito de Energia. Passado e Sentido*. Aachen: Shaker Verlag GmbH/Instituto Rocha Cabral.

Coelho, Ricardo Lopes (2009) "On the Concept of Energy: How Understanding its History can Improve Physics Teaching", *Sci. Educ.* 18: 961-983.

Coelho, R. Lopes; Marques, M.; Homem, T. Rocha (2010) "Introduction of Topics of History of Energy in the Teaching of Physics and Chemistry" in *HIPST - History and Philosophy in Science Teaching - Developed Case Studies* ([www.hipstwiki.wetpaint.com](http://www.hipstwiki.wetpaint.com)).

Coelho, Ricardo Lopes (2011) "On the concept of energy: eclecticism and rationality", Abstract of the *IHPST Conference*, Thessaloniki.

Coelho, Ricardo Lopes (2013) "Could HPS improve problem-solving?", *Sci. Educ*, published online: 27 Julho 2012.

Colding, L. A. (1972) *Ludvig Colding and the Conservation of Energy Principle*. P. Dahl (ed. e trad.) New York (etc.): Johnson reprint.

Coopersmith, Jennifer (2010) *Energy. The Subtle Concept*. Oxford: Oxford University Press.

Corrêa, Carlos; Basto, Fernando P. (2000) *Química 12º ano. 2ª parte*. Porto: Porto Editora.

Cotignola, Maria I.; Bordogna, Clelia; Puente, Graciela; Cappannini, Osvaldo M. (2002) "Difficulties in Learning Thermodynamic Concepts: Are they Linked to the Historical Development of this Field?", *Sci. Educ.* 11: 279-291.

Cutnell, John; Johnson, Kenneth (1997) *Physics*. Toronto (etc): John Wiley & Sons.

Cutnell, John D.; Johnson, Kenneth W. (2006) *Essentials of Physics*. Hoboken, N. J.: John Wiley & Sons, Inc.

Darnsfeld, K; Kienle, P.; Kalvius, G. M. (2001) *Physik I: Mechanik und Wärme*. 9ª ed. Munchen/Wien: Oldenbourg.

Delon, Michel (1988) *L'idée d'énergie au tournant des Lumières (1770-1820)*. Paris : Pr. Univ. De France.

Deltete, Robert J. (2008) « Wilhelm Ostwald's Energetics 3 : Energetics Theory and Applications, Part II ». *Foundations of Chemistry* 10 : 187-221.

Denial, Davies (1973) *Investigating Chemistry*. London : Heinemann Educational Books.

Doménech, Josep Lluís et al. (2007) "Teaching of Energy Issues : A Debate Proposal for a Global Reorientation", *Sci. Educ.* 16: 43-64.



Douville (1832) *Journal de Chimie Médicale de Pharmacie et de Toxicologie*. Tome Huitième. Paris : Béchet Jeune.

Duit, Reinders (1987) “Should energy be illustrated as something quasi-material?”, *Int. J. Sci. Educ.*, vol. 9, 2:139-145.

Einstein, Albert (1989) *The Collected Papers of...* Vol. 2. The Swiss Years: Writings, 1900-1909. Princeton: Princeton University Press.

Eisberg, Robert M.; Lerner, Lawrence S. (1981) *Physics. Foundations and Applications*. New York (etc): McGraw-Hill.

Elkana, Yehuda (1974) *The Discovery of the Conservation of Energy*. London and Southampton: Hutchinson Educational LTD.

Farber, Eduard (1954) “The Colour of Venous Blood”, *Isis*, 45: 3-9.

Faughn, Jerry S.; Serway, Raymond A. (2006) *Serway's College Physics*. Belmont, CA: Thomson Brooks/Cole.

Fermi, Enrico (1937) *Thermodynamics*. New York: Dover, 1956.

Feynman, Richard (1966) *The Feynman Lectures on Physics*. 2<sup>nd</sup> ed. London: Addison Verlag.

Fullinwider, S. P. (1990) “Hermann von Helmholtz: The problem of Kantian influence,” *History and Philosophy of Science*, 21: 41-55.

Gartenhaus, Solomon (1975) *Physics. Basic principles*. Vol. 1. New York (etc): Holt, Rinehart and Winston.

Gil Perez, Daniel; Carrascosa Alis, Jaime (1985) “Science learning as a conceptual and methodological change”, *Eur. J. Sci. Educ.*, vol. 7, 3:231-236.

Grenslade Jr. Thomas B. (2002) “Nineteenth-Century Measurements of the Mechanical Equivalent of Heat”, *Phys. Teac.*, vol. 40: 243-248.

Guedj Muriel (2006) “Du concept de travail vers celui d'énergie: l'apport de Thomson” *Revue d'histoire des sciences*, vol. 59: 29-50.

Guedj, Muriel (2011) “Energy: from its history to how it is taught”, Abstract of the *IHPST Conference*, Thessaloniki.

Guyton, Arthur; Hall, John (2006) *Textbook of Medical Physiology*. 11<sup>th</sup> ed. Philadelphia: Elsevier.

Halliday, D.; Resnick, R.; Walter, J. (2003) *Fundamentals of Physics*. Hoboken, N J: John Wiley & Sons.

Halzen, Francis; Martin, Alan D. (1984) *Quarks and Leptons: An introductory Course in Modern Particle Physics*. New York (etc): John Wiley & Sons.

Hecht, Eugene (2003) “An Historico-Critical Account of Potential Energy: Is PE Really Real?”, *Phys. Teac.* Vol. 41: 486-493.

Heidegger, Martin (1986) *Sein und Zeit*. Tübingen: Max Niemeyer. (1<sup>a</sup> ed. 1927). (trad. Esp.: *El Ser y el Tiempo*. Madrid: Fondo de Cultura Económica, 1984).

Heidelberger, Michael (1993) “Force, Law, and Experiment. The evolution of Helmholtz’s Philosophy of Science”, in David Cahan (ed.) *Hermann von Helmholtz and the foundations of the Nineteenth century Science*, pp.461-97. Berkeley, Los Angeles and London: University of California Press.

Heimann, Harman (1982) *Energy, Force, and Matter. The Conceptual Development of Nineteenth-century Physics*. Cambridge: Cambridge University Press.

Heimann, P. M. (1974) “Conversion of forces and the Conservation of Energy”, *Centaurus* 18: 147-61.

Heimann, P. M. (1974) “Helmholtz and Kant: the Metaphysical Foundations of Über die Erhaltung der Kraft”, *SHPS* 5: 205-38.

Heimann, P. M. (1976) “Mayer’s concept of force”: the axis of a new science of physics”, *Historical Studies in the Physical Sciences* 7: 277-96.

Helm, Georg (2000) *The Historical Development of Energetics*. Dordrecht, Boston; London: Kluwer Academic Publishers.

Helmholtz, Hermann von (1882) *Wissenschaftliche Abhandlungen I*. Leipzig: Barth.

Hertz, Heinrich (1894) *Die Principien der Mechanik*. Leipzig: J. A. Barth.

Hewitt, Paul G. (2009) *Fundamentos de Física Conceitual*. Porto Alegre: Bookman.

Hicks, Nancy (1983) “Energy is the capacity to do work-or is it?”, *Phys. Teac.*, 1983: 529-530.

Hiebert, E. N. (1971) “The energetics controversy and the new thermodynamics”, in D.H.D. Roller (ed.) *Perspectives in the History of Science and Technology*: 67-86. Norman: University of Oklahoma Press.

*Histoire de la Philosophie* 1, 2, 3 (1969, 1973, 1974) sur la direction de Brice Parain e Ivon Belaval. Paris: Gallimard.

Holton, Gerald (1985) *Introduction to Concepts and Theories in Physical Science*. Revised by Stephan Brush. Princeton: Princeton University Press.

- Hudson, Alvin; Nelson, Rex (1982) *University Physics*. New York: H. B. Jovanovich.
- Hume, David (1977) *An Enquiry Concerning Human Understanding*. Edited by Eric Steinberg. Indianaapolis; Cambridge: Hackett Publishing.
- Hume, David (1978) *A Treatise of Human Nature*. Text revised and variant readings by P. H. Nidditch. Oxford: The Clarendon Press.
- Hund, Friedrich (1956) *Theoretische Physik*. Vol. 3. Stuttgart: Teubner.
- Husserl, Edmond (1980) *Méditations Cartésiennes*. Paris: Vrin.
- Iltis, Carolyn (1971) "Leibniz and the Vis Viva Controversy", *ISIS*, 62, 21-35.
- Jentsch, Ernest (1916) "Zur Geschichte der Entdeckung Julius Robert Mayer", *Die Naturwissenschaften* 4, 90-93.
- Joule, J. P. (1884, 1887) *The Scientific Papers of James Prescott Joule*. 2 vol.. London: The Physical Society. (Reimp. Londres: Dawsons, 1963).
- Kalman, Calvin. S. (2010) "On the concept of force: a comment on Lopes Coelho", *Sci. Educ.*, published online 11 Agosto 2010.
- Kanderakis, Nikos (2012) "What is the meaning of the physical magnitude 'work'", *Sci. Educ.*, published online 28 Dezembro 2012.
- Kant, Immanuel (1997) *Crítica da Razão Pura*. Lisboa: Fundação Calouste Gulbenkian. (1<sup>a</sup> ed. 1781).
- Kant, Immanuel (2004) *Metaphysical Foundations of Natural Science*. (Cambridge texts in the History of Philosophy). Cambridge: Cambridge University Press.
- Keller, Frederick J.; Gettys, W. Eduard; Skove, Malcolm J. (1993) *Physics: classical and modern*. 2 ed. New York (etc): McGraw-Hill.
- Kemp, H. R. (1984) "The concept of energy without heat or work", *Phys. Educ.* 19: 234-240.
- Kestin, Joseph (1979) *A Course in Thermodynamics*. New York: Hemisphere Publishing Corporation, vol. 1.
- Kibble, T. W. B.; Berkshire, F. H. (1996) *Classical Mechanics*. London: Longman.
- Kirk, G. S., Raven, J. E., Schofield, M. (2005) *Os Filósofos Pré-Socráticos*. Lisboa: Fundação Calouste Gulbenkian.
- Kittel, Charles; Knight, Walter D. Ruderman, Malvin A. (1970) *Curso de Física de Berkeley. Volume I Mecânica*. S. Paulo: Editora Edgard Blucher Ltda.

Klein, Sanford; Nellis, Gregory (2012) *Thermodynamics*. Cambridge (etc.): Cambridge University Press.

Kreuzer, Hans; Tamblyn, Isaac (2010) *Thermodynamics*. Singapore: World Scientific Publishing.

Kuhn, Thomas (2009) *A Tensão Essencial*. Lisboa: Edições 70 (ed. orig. 1977).

Kuhn, Thomas (1990) *A Estrutura das Revoluções Científicas*. São Paulo: Perspectiva.

Lakoff, G. ; Johnson, M. (1980) *Metaphors we live by*. Chicago : University of Chicago Press.

Lancor, Rachael (2012) « Using metaphor theory to examine conceptions of energy in biology, chemistry, and physics », *Sci.Educ.*, published online 04 Set. 2012.

Lavoisier, Antoine-Laurent (1789) *Traité Élémentaire de Chimie. Présenté Dans Un Ordre Nouveau et d'après les Découvertes Modernes Avec Figures Y2*. Reprints from the collection of the University of Michigan Library, 2009.

Lavoisier, Antoine-Laurent (1790) *Elements of Chemistry*. New York: Dover, 1965.

Lavoisier, Antoine-Laurent (1920) *Mémoires sur la respiration et la transpiration des animaux*. Paris : Gauthier-Villars.

Lehrman, Robert L. (1973) “Energy is not the ability to do work”, *Phys. Teac.*, 1973: 15-18.

Leibniz, G. W.; Clarke, S. (1715-16) “Exchange of papers between Leibniz and Clark”. <http://www.earlymoderntexts.com/pdf/lebelar.pdf>.

Leibniz, G. W (2008) *Discurso de Metafísica*. Lisboa: Edições 70.

Leroux, Jean (1996) “Helmholtz and Modern Empiricism”, *Québec studies in philosophy of science*. Vol. I: 287-296.

Lindsay, R. B. (1973) *Men of Physics: Julius Robert Mayer, Prophet of Energy*. Oxford: Pergamon Press.

Lodge, O. J. (1879) “An attempt at a systematic classification of the various forms of energy”, *Phil. Magaz.*, 277-86.

Lodge, O. J. (1885) “On the identity of energy: in connection with Mr Poynting`s paper on the transfer of energy in an electromagnetic field; and the two fundamental forms of energy”, *Philosophical Magazine* 19: 482-94.

Look, Brandon C. (2013) “Leibniz”, in *The Stanford Encyclopedia of Philosophy* (Fall 2013 edition), Edward N. Zalta (ed.),  
URL = <http://plato.stanford.edu/archives/fall2013/entries/brandonc.look>.

Mach, Ernst (1911) *History and Root of the Principle of the Conservation of Energy*. Chicago: The Open Court Publishing.

Mach, Ernst (1986) *Principles of the Theory of Heat*. Dordrecht: Reidel (1ª ed. 1896 Leipzig).

Martins, Roberto de Andrade (1984) “Mayer e a conservação da energia”, *Cadernos de História e Filosofia da Ciência* 6: 63-95.

Mayer, J. R. (1842) “Bemerkungen uber die Krafte der unbelebten Natur”, *Annalen der Chimie und Pharmazie* 42: 233-40.

Mayer, J. R. (1845) *Die Organische Bevegung in ihrem Zusammenhange mit dem Stoffwechsel*. Heilbronn. (In Mayer 1978).

Mayer, J. R. (1848 a) *Beitrage zur Dynamik des Himmels*. Heilbronn. (in Mayer 1978).

Mayer, J. R. (1848 b) “Sur la transformation de la force vive en chaleur, et réciproquement” *Comptes Rendus* 27 : 385-7.

Mayer, J. R. (1851) *Bemerkungen uber das mechanische Aequivalent der Warm*. Heilbronn. (In Mayer 1978).

Mayer, J. R. (1978 ) “Sur la production de la lumière et de la chaleur du soleil “, in *Die Mechanik der Wärme: Samtliche Schriften*. H. P. Munzenmayer e Stadtarchiv Heilbronn (eds). Heilbronn: Stadtarchiv Heilbronn.

Maxwell, James Clerk (1872) *Theory of Heat*. London: Longmans. Elibron Classics Replica Edition, 2005.

Maxwell, James Clerk (1888) *Matter and Motion*. New York: Dover, 1991.

Mckelvey, John P.; Grotch, Howard (1979) *Física*. São Paulo: Harbra. Editora Harper & Row do Brasil.

Melo, Maria Teresa R. R. Homem (2010) *Energia e Medicina em Robert Mayer*. Faculdade de Ciências da Universidade de Lisboa. Dissertação de Mestrado. Policopiado.

Müller, Ingo (2007) *A History of Thermodynamics*. Berlin, Heidelberg, New York: Springer.

Müller; Pouillet (1926) *Lehrbuch der Physik*. Vol. 3, I Parte. 11 ed. Braunschneig. Friedr. Vieweg & Sohn.

Nelkon, M.; Parker, P. (1977) *Advanced Level Physics*. London: Heinemann Educational Books.

Nicholls, Gillian; Ogborn, Jon (1993) “Dimensions of children’s conceptions of energy”, *Int. J. Sci. Educ.*, vol. 15: 73-81.

Ostwald, Wilhelm (1908) *Die Energie*. Leipzig : T. A. Barth, 1912<sup>2</sup>.

Ostwald, Wilhelm (1910) *Natural Philosophy*. New York: Bibliolife.

Papadouris, Nicos; Constantinou, Constantinos P. (2010) „A Philosophically Informed Teaching Proposal on the Topic of Energy for Students Aged 11-14“, *Sci. Educ.* Published online: 19 October 2010.

Peixoto, José Pinto (1985) *Alguns aspectos da termodinâmica e da energética dos seres vivos*. Faro: textos escolares universitários.

Pfister, E. (1914) “Über den Schiffarzt Julius Robert Mayer”, *Archiv für Schiffs- und Tropenhygiene unter besonderer Berücksichtigung der Pathologie und Therapie*, XVIII, Heft XIV.

Planck, Max (1887) *Das Prinzip der Erhaltung der Energie*. 4<sup>a</sup> ed. (1921) Leipzig, Berlin: Teubner.

Popper, Karl (2006) *Conjecturas e Refutações*. Coimbra: Almedina.

Preston, Thomas (1894) *The Theory of Heat*. 3<sup>a</sup> ed. By R. Cotter. London: Macmillan.

Preston, Thomas (1919) *The Theory of Heat*. 3<sup>r</sup> ed. R. Cotter (ed.). London: Macmillan.

Prideaux, Ned (1995) “Different approaches to the teaching of the energy concept”, *SSR* 77(278): 49-57.

Rankine, William (1853) “On the General Law of the transformation of Energy”, *Phil. Magaz.* 34, 106-17.

Rezende, Joffre M. de (2009) “O enigma da respiração: como foi decifrado”, in *À Sombra do Plátano*. São Paulo: UNIFESP.

Rizaki, Aikaterini; Kokkotas, Panagiotis (2009) „The use of history and philosophy of science as a core for a socioconstructivist approach of the concept of energy in primary education“, *Sci. Educ.* Published online: 05 December 2009.

Rocha-Homem, Teresa (2011) “O modelo teórico da descoberta da energia”, *Lógica Universal e Unidade da Ciência*. Lisboa: Centro de Filosofia das Ciências da Universidade de Lisboa: 141-165.

Saha, M; Srisvastava, D (1935) *A Treatise on Heat*. 2<sup>r</sup> ed. Calcuta.

Saussure, Theodore (1804) *Recherches chimiques sur la végétation*. Paris : chez la V Nion.

Schiemann, Gregor (2009) *Hermann von Helmholtz's Mechanism: the Loss of Certainty*. London; New York: Springer.

Seebeck (1821-2) “Magnetische Polarisation der Metalle und Erze durch Temperatur-Differenz”, *Abhandlungen der Koniglichen Akademie der Wissenschaften zu Berlim* (1822-23), 265-373.

Sexl, Roman U. (1981) “Some Observations Concerning the Teaching of the Energy Concept”, *Eur. J. Sci. Educ.*, vol. 3, 3:285-289.

Singh, Jagjit (1961) *Great Ideas and Theories of Modern Cosmology*. New York: Dover publications, inc.

Shamos, Morris H. (1987) *Great Experiments in Physics*. New York: Dover Publications, Inc.

Smith, E. Brian (1973) *Fundamentos de Termodinâmica Química*. Coimbra: Livraria Almedina.

Smith, Crosbie (1998) *The Science of Energy*. London: The Athlone Press.

Smith, Crosbie; Wise, Norton (1989) *Energy and Empire*. Cambridge: Cambridge University Press.

Smith, Crosbie (2003) “Force, Energy, and Thermodynamics”, in Mary Joe Nye, org., *Cambridge History of Science. The Modern Physical and Mathematical Sciences*. Cambridge: Cambridge University Press, vol. 5, pp. 289-310.

Solomon, Joan (1985) “Teaching the conservation of energy”, *Phys. Educ.*, vol. 20:165-170.

Somerville, Mary F. (1840) *On the Connexion of Physical Sciences*. London: John Murray.

Stryer, Lubert (1975) *Biochemistry*. New York: W. H. Freeman and Company.

Tipler, Paul (2000) *Physik*. 3<sup>a</sup> reimpressão corrigida da 1<sup>a</sup> ed. 1994. Heidelberg: Spektrum Akd. Verl.

Thomson, William (1848) “On an Absolute Thermometric Scale founded on Carnot’s Theory of the Motive Power of Heat”, *Phil. Magaz.*, 33, 313-17.

Thomson, William (1849) “An account of Carnot’s Theory of the Motive Power of Heat; with Numerical Results deduced from Regnault’s Experiments of Steam”, *Transactions of the R. S. of Edinburgh* 16, 541-74.

Thomson, William e Tait, Peter (1862) “Energy”, *Good Words* 3, 601-7.

Trumper, Ricardo (1997) “Applying Conceptual Conflict Strategies in the Learning of the Energy Concept”, *Res. Sci. Tech. Educ.*, vol. 15, 1: 5-18.

Valente, Mariana de Jesus Pedreira (1999) *Uma Leitura Pedagógica da Construção Histórica do Conceito de Energia*. Lisboa: Universidade Nova. Dissertação de Doutoramento. Policopiado.

Van Roon, P. H.; Van Sprang, H. F.; Verdonk, A. H. (1994) “Work and Heat: on a road towards thermodynamics”, *Int. J. Sci. Educ.*, vol. 16, 2: 131-144.

Voigt, W. (1903) *Termodynamik I*. Leipzig: G. J. Goschensche.

Young, Hugh D. (1974) *Fundamentals of Mechanics and Heat*. New York (etc): McGraw-Hill.

Young, H.; Freedman, R. (2004) *Sears and Zemansky's University Physics*. 11<sup>a</sup> ed. San Francisco (etc): P. Addison-Wesley.

Warren, J. W. (1982) “The nature of energy”, *Eur. J. Sci. Educ.*, vol. 4, 3: 295-297.

Watts, Michael (1983) “Some alternative views of energy”, *Phys. Educ.*, vol. 18:213-217.

Westphal, W. (1970) *Physik*. 25/26 ed. Berlin: Springer.

Wolf, Franz (1949) *Grundzuge der Physik I*. Karlsruhe: G. Braun.

Zubay, Geoffrey (1983) *Biochemistry*. Reading, Mass (etc): Addison-Wesley.